

УДК 631.438 : 658.562

А. Ф. Мирончик, канд. техн. наук, доц.

## ВЫПАДЕНИЕ, СОДЕРЖАНИЕ В ПРОДУКЦИИ И ПОСТУПЛЕНИЕ $^{90}\text{Sr}$ И $^{137}\text{Cs}$ ГЛОБАЛЬНЫХ ВЫПАДЕНИЙ В ОРГАНИЗМ ЖИТЕЛЕЙ ДО АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

Приведены сведения о широтной зависимости выпадений радиоактивных веществ после испытаний ядерного оружия на территории земного шара, а также о накоплении  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  глобальных выпадений основными видами сельскохозяйственной продукции, производимой на территории бывшего СССР в доаварийный период. Имеющиеся данные представлены в сравнении с результатами наблюдений за содержанием  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в продуктах питания, полученных на территории других стран мира.

### Введение

Радиоактивность и сопутствующие ей ионизирующие излучения существовали на Земле задолго до зарождения на ней жизни и присутствовали в космосе задолго до зарождения самой Земли. Радиоактивные материалы вошли в состав планеты с самого ее рождения. Таким образом, сформировался т. н. *природный радиоактивный фон (ПРФ)*, который определяется двумя компонентами: террогенным и космогенным. ПРФ – это совокупность ионизирующего излучения радионуклидов, рассеянных в абиотических (атмосфере, поверхностных и подземных водах, литосфере) и биотических объектах. Доза облучения от ПРФ для территории Беларуси составляет приблизительно 2 мЗв/г.

Радиоактивные выпадения от испытаний ядерного оружия вызвали локальное, региональное и глобальное загрязнения окружающей среды. При испытаниях, проводимых на поверхности земли, часть выбросов оседает на территории полигона (локальные выпадения) и на территории до нескольких тысяч километров в направлении ветра (промежуточные выпадения). Приблизительно 50 % радиоактивности, которая обусловлена изотопами с высокой температурой плавления (например,  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{144}\text{Ce}$ ), выпадают в непосредственной близости от испытательного полигона и около 25 % – в окрестностях. 50 % выбросов, содержащих летучие изотопы (например,  $^{90}\text{Sr}$ ,

$^{137}\text{Cs}$  и  $^{131}\text{I}$ ), также локально выпадают в регионе. Остальная радиоактивность и вся радиоактивность, выбрасываемая в момент воздушных взрывов, рассеивается в атмосфере (в зависимости от условий испытаний – в тропосфере, в нижнем или верхнем слоях стратосферы).

Общее количество ядерных испытаний в атмосфере всеми странами составило 543 взрыва при суммарной взрывной мощности 440 Мт (табл. 1). Около 90 % мощности взрывов были реализованы в 1952–1962 гг., максимумы которых приходятся на два периода: первый – 1954–1958 гг., когда взрывы проводили Великобритания, США и СССР, и второй, более значительный, – 1961–1962 гг., когда их проводили, в основном, США и СССР (рис. 1). Глобальное суммарное выпадение достигло максимума в 1967–1972 гг., и к 2000 г. его активность уменьшилась за счет естественного распада до, приблизительно, 250 ПБк.

В 1963 г. СССР и США подписали Договор об ограничении испытаний ядерного оружия, обязывающий не испытывать его в атмосфере, под водой и в космосе. С тех пор лишь Франция и Китай провели серию ядерных взрывов в атмосфере (последний из них – в 1980 г.). Подземные испытания проводятся до сих пор. Не следует также забывать о применении оружия с обедненным ураном (впервые – в «Войне в Заливе» в 1991 г.,

затем – в конфликте в Косово).

Находясь в воздухе в среднем около месяца после ядерного взрыва, радиоактивные вещества постепенно выпадают на землю. Большая часть радиоактивного материала выбрасывается при взрыве в стратосферу (10–50 км), где он остается многие месяцы, медленно опускаясь и рассеиваясь по всей поверхности земного шара. Вклад в ожидаемую коллективную эффективную

эквивалентную дозу облучения населения от ядерных взрывов, превышающий 1 %, дают только четыре радионуклида. Это  $^{14}\text{C}$  ( $T_{1/2} = 5730$  лет),  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{95}\text{Zr}$  ( $T_{1/2} = 64$  сут) и  $^{90}\text{Sr}$ . Таким образом, сформировалось долговременное крупномасштабное радиоактивное загрязнение окружающей среды, которое называют *бомбовым или глобальным*.

Табл. 1. Атмосферные испытания, выполненные различными странами

Полигон	Число испытаний	Суммарная мощность взрывов, Мт		
		Процесс деления	Процесс синтеза	Всего
Лоп Нор (Китай)	22	12,2	8,5	20,7
Алжир (Франция)	4	0,073	0	0,073
Фангатауфа (Франция)	4	1,97	1,77	3,74
Муруроа (Франция)	37	4,13	2,25	6,38
<b>Франция (всего)</b>	<b>45</b>	<b>6,17</b>	<b>4,02</b>	<b>10,2</b>
Монте Белло Исланд (Великобритания)	3	0,1	0	0,1
Эму (Великобритания)	2	0,018	0	0,018
Маринга (Великобритания)	7	0,062	0	0,062
Малден Айленд (Великобритания)	3	0,69	0,53	1,22
Хрисмас Айленд (Великобритания)	6	3,35	3,30	6,65
<b>Великобритания (всего)</b>	<b>21</b>	<b>4,22</b>	<b>3,83</b>	<b>8,05</b>
Нью Мексико (США)	1	0,021	0	0,021
Хиросима, Нагасаки	2	0,036	0	0,036
Невада (США)	86	1,05	0	1,05
Бикини (США)	23	42,2	34,6	76,8
Эневетак (США)	42	15,5	16,1	31,7
Тихоокеанские (США)	4	0,102	0	0,102
Атлантика (США)	3	0,0045	0	0,0045
Джонсон Айленд (США)	12	10,5	10,3	20,8
Хрисмас Айленд (США)	24	12,1	11,2	23,3
<b>США (всего)</b>	<b>197</b>	<b>81,5</b>	<b>72,2</b>	<b>153,8</b>
Семипалатинск (СССР)	116	3,74	2,85	6,59
Новая Земля (СССР)	91	80,8	158,8	239,6
Тотск, Аральск (СССР)	2	0,04	0	0,04
Капустин Яр (СССР)	10	0,68	0,30	0,98
<b>СССР (всего)</b>	<b>219</b>	<b>85,3</b>	<b>162,0</b>	<b>247,3</b>
<b>Все страны (всего)</b>	<b>543</b>	<b>189</b>	<b>251</b>	<b>440</b>

За время испытаний в биосферу поступило следующее количество продуктов деления и тяжелых элементов (Бк):  $^3\text{H}$  –  $2,4 \cdot 10^{20}$ ;  $^{12}\text{C}$  –  $2,2 \cdot 10^{17}$ ;  $^{90}\text{Sr}$  –  $6 \cdot 10^{17}$ ;  $^{137}\text{Cs}$  –  $9,1 \cdot 10^{17}$ ;  $^{239}\text{Pu}$  –  $6,5 \cdot 10^{15}$  и т. д. По результатам наблюдений лаборатории HASL (США) за глобальными отложениями  $^{90}\text{Sr}$  на поверхности Земли рассчитаны выпадения  $^{137}\text{Cs}$  (соотношение  $^{137}\text{Cs}:^{90}\text{Sr} = 8:5$ )

(табл. 2) [1]. На Северное полушарие, где проводилось большинство испытаний, выпала и большая часть радиоактивных осадков (рис. 2). Пастухи на Крайнем Севере получают дозы облучения от  $^{137}\text{Cs}$ , в 100–1000 раз превышающие среднюю индивидуальную дозу для остальной части населения.

Табл. 2. Широтное распределение выпадений  $^{137}\text{Cs}$

Широтный пояс	Площадь, $10^6 \text{ км}^2$	Население, %	Суммарное отложение, мКи/ $\text{км}^2$ *	
			за период 1958–1970 гг.	от всех испытаний (до 1971 г.)
70–80° с. ш.	11,6	–	23,04	28,00
60–70° с. ш.	18,9	0,4	59,52	72,32
50–60° с. ш.	25,6	11,9	99,20	120,48
40–50° с. ш.	31,5	7,7	110,24	133,92
30–40° с. ш.	36,4	23,4	79,24	96,00
20–30° с. ш.	40,2	25,2	61,28	74,40
10–20° с. ш.	42,8	8,4	41,44	50,24
0–10° с. ш.	44,1	4,0	27,04	32,80
0–10° ю. ш.	44,1	4,2	15,36	19,68
10–20° ю. ш.	42,8	1,7	13,12	16,80
20–30° ю. ш.	40,2	1,5	21,60	27,84
30–40° ю. ш.	36,4	1,4	23,20	29,76
40–50° ю. ш.	31,5	0,1	27,52	35,36
50–60° ю. ш.	25,6	–	15,36	19,68

*Примечание* – 1 Ки/ $\text{км}^2 = 37 \text{ кБк}/\text{м}^2$ ; 1 Ки =  $3,7 \cdot 10^{10}$  Бк; 1 пКи =  $10^{-12}$  Ки

а)



б)

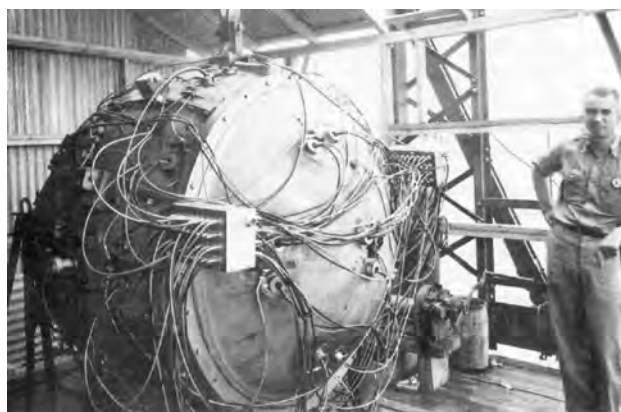


Рис. 1. Первый атомный заряд РДС–1 в музее РФЯЦ–ВНИИЭФ, г. Саров (Арзамас–16) (а) и заряд первой атомной бомбы США на башне перед взрывом 16.07.1945 г. (б)

Подвижность радионуклидов в биоценозах зависит от их физико-химических свойств, условий внешней среды и биологических особенностей растений и животных, что убедительно изложено в публикациях отечественных и зарубежных авторов [2–11]. Биологическая доступность радионуклидов ядерных взрывов определяется видом взрыва. При наземных взрывах на силикатных грунтах частицы локальных выпадений характеризуются слабой растворимостью и, следовательно, низкой биологической доступностью. Радионуклиды локальных выпадений подводных и подземных (с выбросом) взрывов обладают высокой биологической доступностью. Высокую биологическую доступность имеют радионуклиды тропо- и стратосферных выпадений, оседая на поверхность земли в форме мелкодисперсных частиц.

Высокий уровень загрязнения регистрировали в районах локальных выпадений ядерных взрывов. Жителям Маршалловых островов и японским рыбакам с пищей поступили значительные количества продуктов ядерного деления, измеряемые миллионами беккерелей. Ядерные взрывы привели к повышению содержания радионуклидов в

продуктах питания (накопление радионуклидов в растительных и животных организмах может превышать их содержание в окружающей среде). Основными путями поступления радионуклидов в организм людей являются: «растения – человек», «растения – животное – молоко (мясо) – человек», «вода – гидробионты – человек». Часто в эти цепи могут включаться и промежуточные звенья. В СССР, Англии, Франции, США и Японии, например, вклад продуктов растительного и животного происхождения в 60–70-е гг. составлял 63–68, 25, 33, 17, 81 и 32–37, 75, 67, 83, 19 %. В период интенсивных испытаний ядерного оружия молоко являлось основным источником поступления радиоактивных изотопов йода в США и странах Европы, а в Японии такими продуктами были овощи и фрукты. В 80-е гг. основным источником  $^{90}\text{Sr}$  в СССР стали хлебопродукты, в США и Англии – молоко, в Японии – овощи. Источником поступления  $^{137}\text{Cs}$  – хлебопродукты, молоко и овощи. С водой поступает до нескольких процентов  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  и с воздухом – 1–2 % (табл. 3–5).

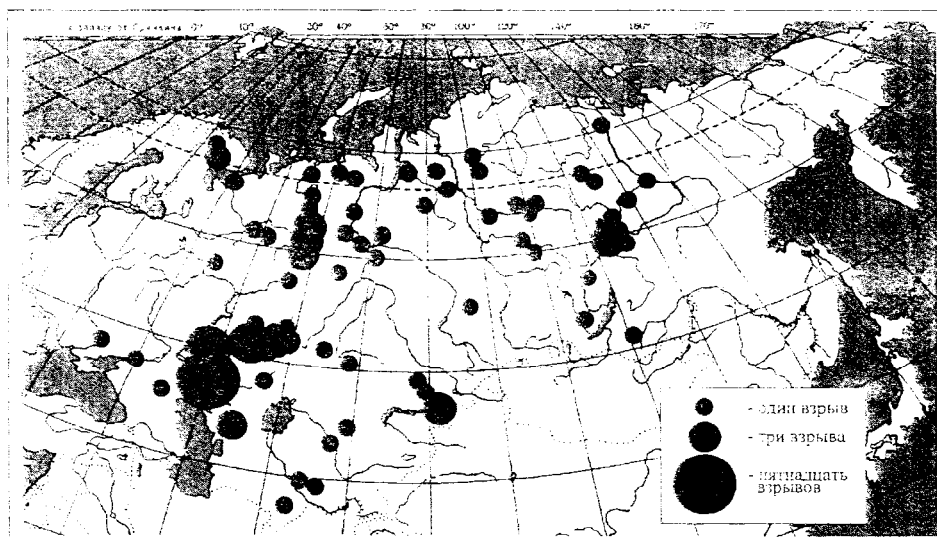


Рис. 2. Места проведения подземных ядерных взрывов в «мирных» целях на территории бывшего СССР

Табл. 3. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в молоке, пКи/л

Страна	Год							
	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969–1970
Дания (max)	600	1250	1700	1100	200	586	–	–
ФРГ	120	250	150	100	50	25	20	20
Канада (mittel)	–	170	210	110	51	33	25	–
Швеция	120	185	180	125	70	50	40	–
Аргентина (min)	–	13	20	20	21	11	10	–
СССР	147	210	180	78	56	23	17	17

Табл. 4. Содержание  $^{90}\text{Sr}$  в мясе (говядина, свинина), пКи/л

Страна	Год						
	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968
СССР	–	290	360	85–250	130–180	100	90
Швеция	380	750	760	470	230	105	95

Табл. 5. Загрязнение некоторых продуктов питания  $^{137+134}\text{Cs}$  в ФРГ, Бк/кг

Продукт	До аварии (1985 г.)	После аварии (03.1987 г.)	Продукт	До аварии (1985 г.)	После аварии (03.1987 г.)
Говядина	0,1–1,0	70 (172)*	Косуля	3–49	365 (677)
Телятина	0,3–1,5	55 (168)	Кабан	1–21	422
Свинина	0,2–3,0	32 (90)	Серна	1–50	305
Баранина	0,2–220	101 (220)	Лань	–	44
Благородный олень	3–150	327 (421)			

*Примечание* – \* – в скобках указаны максимальные значения

### Основная часть

Загрязненность  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  пищевых продуктов и всего рациона населения бывшего СССР, а также содержание этих радионуклидов в организме человека определяются в масштабе всей страны, начиная с 1963 г. В растения радионуклиды поступают в результате непосредственного загрязнения и из почвы. Прямое загрязнение из радиоактивного облака сельскохозяйственных растений в период их вегетации имеет особо важное значение. По степени задерживания растения располагают в ряд: капуста > свекла > картофель > пшеница > естественная

травяная растительность. Дальнейшая судьба задержанных частиц зависит от их растворимости и скорости удаления под действием дождя и других процессов. Нерастворимые радионуклиды загрязняют растения только с поверхности, а растворимые поглощаются через листья, стебли и плоды. Процессы резорбции протекают сравнительно быстро. По скорости листовой абсорбции радионуклиды располагают в ряд:  $\text{Cs} > \text{Ba} > \text{Sr} > \text{Ru}$  [12]. Усвоение радионуклидов из почвы, в основном, не отличается от накопления стабильных изотопов тех же элементов.

По степени поступления из почвы радионуклиды составляют ряд:  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr} > ^{131}\text{I} > ^{140}\text{Ba} > ^{137}\text{Cs} > ^{106}\text{Ru} > ^{144}\text{Ce} > ^{90}\text{Y} > ^{45}\text{Zn} > ^{95}\text{Nb}$ ,  $^{210}\text{Po}$  [11]. Поступление радионуклидов в растения зависит от типа почвы: наименьший переход наблюдается в регионах, где преобладают черноземные почвы, а наибольший – в регионах с торфяно-болотистыми и песчаными почвами [2, 7, 8].

В организм животных радионуклиды поступают через желудочно-кишечный тракт, органы дыхания и кожные покровы. Основной путь – алиментарный, с загрязненными кормами и водой. Накопление радионуклидов в организме сельскохозяйственных животных и переход их в продукцию животноводства – молоко, мясо и продукты их переработки – зависят от физико-химических свойств радионуклидов, видовых и возрастных особенностей животных и их функционального состояния. По способности концентрировать всосавшиеся радионуклиды продуктов ядерного деления основные органы животных составляют ряд: щитовидная железа > печень > почки > скелет > мышцы. По данным экспериментальных исследований с 1 л молока коров выводится 0,27–0,75 %  $^{90}\text{Sr}$  глобальных выпадений, а  $^{137}\text{Cs}$  – 0,95–1,62 % [13].

Источником поступления радионуклидов в организм человека являются также гидробионты, которые в больших количествах накапливают радионуклиды. Накопление происходит быстро, особенно в период интенсивного их роста. Радионуклиды поступают в организм в результате адсорбции на открытых поверхностях тела, абсорбции через поверхность (кожу, жаберные мембраны у рыб, корни и поверхности листьев у растений) и при заглатывании их с пищей. Поведение радионуклидов в водоеме зависит от физико-химических свойств воды и ее состава, в частности от pH и химического состава примесей. Слабая минерализация воды способствует более высокому накоплению радионуклидов гидробионтами, поэтому рыбы пресноводных водоемов накапливают их в десятки и сотни раз больше. Коэффициенты накопления

в мышечной ткани рыб  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  составляют около 1000 [7].

Начиная с осени 1961 г., повсеместно регистрировалось резкое повышение плотности радиоактивных выпадений из атмосферы, которая достигла своих максимальных величин по суммарной  $\beta$ -активности в 1962 г., а по содержанию  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  – в 1963 г. В последующие годы плотность выпадений из атмосферы неуклонно снижалась. При этом плотность выпадений по суммарной  $\beta$ -активности ежегодно уменьшалась наполовину, а по содержанию  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  – на 85–90 % по сравнению с предшествующим годом.

Вместе с тем активность кумулятивного осадка почв, величина которого к осени 1961 г. составляла  $(444 \pm 148)$  и  $(740 \pm 148)$  Бк/м<sup>2</sup> за счет  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  соответственно, ежегодно увеличивалась и достигла своих максимальных значений в 1966 г. В указанный период в почвах украинского Полесья содержалось  $(1924 \pm 555)$  Бк/м<sup>2</sup>  $^{90}\text{Sr}$  и  $(3700 \pm 740)$  Бк/м<sup>2</sup>  $^{137}\text{Cs}$ . К концу 1969 г. активность кумулятивного осадка в почвах была  $(1480 \pm 222)$  Бк/м<sup>2</sup> за счет  $^{90}\text{Sr}$  и  $(2738 \pm 444)$  Бк/м<sup>2</sup> за счет  $^{137}\text{Cs}$ . Приведенные значения кумулятивного осадка определялись на целинных участках в слое 0–20 см, на пахоте – 0–16 и 0–20 см (табл. 6).

При одинаковой плотности выпадений на территории отдельных районов республики активность кумулятивного осадка в почвах была неодинаковой не только на целинных участках, но и на пахоте. Приведенные данные (см. табл. 6) свидетельствуют о том, что активность кумулятивного осадка почв зависит от их физико-химических свойств и механического состава. Последние определяют степень подвижности  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в почве и интенсивность их проникновения вглубь по профилю [14–16].

Загрязнение  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  пищевых продуктов растительного и животного происхождения в различных районах

Украины находилось в зависимости от интенсивности выпадений из атмосферы (1963–1966 гг.), а в последующий период

(1967–1969 гг.) – от физико-химических свойств и механического состава почв (рис. 3).

Табл. 6. Активность кумулятивного осадка почв центральных и северных областей Украины в 1966–1969 гг.

Год исследований	Концентрация $^{90}\text{Sr}$ и $^{137}\text{Cs}$ , пКи/км <sup>2</sup>			
	Черноземы		Дерново-подзолистые почвы	
	Целинные участки, 0–5 см	Пахота, 0–20 см	Целинные участки, 0–5 см	Пахота, 0–20 см
1966	$\frac{350 \pm 30 (18)}{560 \pm 20}$	$\frac{250 \pm 20 (20)}{420 \pm 30}$	$\frac{290 \pm 40 (37)}{500 \pm 16}$	$\frac{213 \pm 30 (37)}{360 \pm 20}$
1967	$\frac{330 \pm 20 (12)}{500 \pm 16}$	$\frac{210 \pm 20 (12)}{360 \pm 16}$	$\frac{250 \pm 20 (16)}{430 \pm 20}$	$\frac{173 \pm 13 (18)}{320 \pm 10}$
1968	$\frac{280 \pm 25 (28)}{440 \pm 30}$	$\frac{180 \pm 7 (20)}{320 \pm 10}$	$\frac{210 \pm 10 (26)}{360 \pm 20}$	$\frac{130 \pm 7 (26)}{260 \pm 20}$
1969	$\frac{250 \pm 10 (17)}{380 \pm 20}$	$\frac{143 \pm 6 (19)}{270 \pm 8}$	$\frac{160 \pm 10 (30)}{280 \pm 20}$	$\frac{96 \pm 15 (30)}{200 \pm 10}$
<p><i>Примечания</i>            1. В числителе – средние значения, в знаменателе – экстремальные значения; в скобках – число исследованных проб.            2. 1 Бк = <math>2,7 \cdot 10^{-11}</math> Ки</p>				

В 1967 г., когда корневой путь поступления радиоактивных загрязнений стал основным, начали проявляться особенности почвенных условий. Изменения путей поступления радиоизотопов в зерно пшеницы и молоко сказались на отношении в них концентраций  $^{90}\text{Sr}$  к  $^{137}\text{Cs}$ . Если в 1963–1966 гг. отношение  $^{90}\text{Sr}$  к  $^{137}\text{Cs}$  было 1:3,4–1:2,8 (пшеница), 1:8–1:3 (молоко), то в последующие годы (1967–1969 гг.) отношение этих радионуклидов составляло 1:1,5 (пшеница) и 1:3–1:2,4 (молоко). Изменение отношения  $^{90}\text{Sr}$  к  $^{137}\text{Cs}$  в зерновых и молоке свидетельствует о том, что подвижность  $^{137}\text{Cs}$  в почвах меньше  $^{90}\text{Sr}$ . Максимум загрязнения картофеля отмечался в 1963–1964 гг. Отношение  $^{90}\text{Sr}$  к  $^{137}\text{Cs}$  в картофеле урожаев 1967–1969 гг. было 1:1,8 и 1:1,5 [17]. О необычно высокой подвижности  $^{137}\text{Cs}$  и в меньшей степени  $^{90}\text{Sr}$  в дерново-подзолистых почвах украинского и белорусского Полесья свидетельствует ряд наблюдений.

Например, при пастбищном содержании скота на горных выпасах в Карпатах содержание  $^{137}\text{Cs}$  в молоке даже в период са-

мых интенсивных выпадений из атмосферы (1963 г.) не превышало 13 Бк/л. В то же время осенью 1966 г. содержание  $^{137}\text{Cs}$  в молоке коров, находящихся на стойловом режиме, достигало 16,6–22,2 Бк/л, а во время выпаса на луговых пастбищах – 27,8–44,4 Бк/л [18–22].

При анализе загрязненности пищевых продуктов растительного происхождения  $^{90}\text{Sr}$  по отдельным контрольным пунктам было установлено, что отношение концентраций этого изотопа от одного продукта к другому с годами не изменяется. Это позволило производить расчет активности различных продуктов, основываясь на результате определения  $^{90}\text{Sr}$  в одном из этих продуктов [17, 19]. Наблюдения за интенсивностью перехода  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в цепочке «почва – пищевые продукты» позволили установить ряд закономерностей, в частности, связи между подвижностью  $^{90}\text{Sr}$  и содержанием обменного кальция в почвах, подвижностью  $^{90}\text{Sr}$  и содержанием гумуса в почвах и т. д.

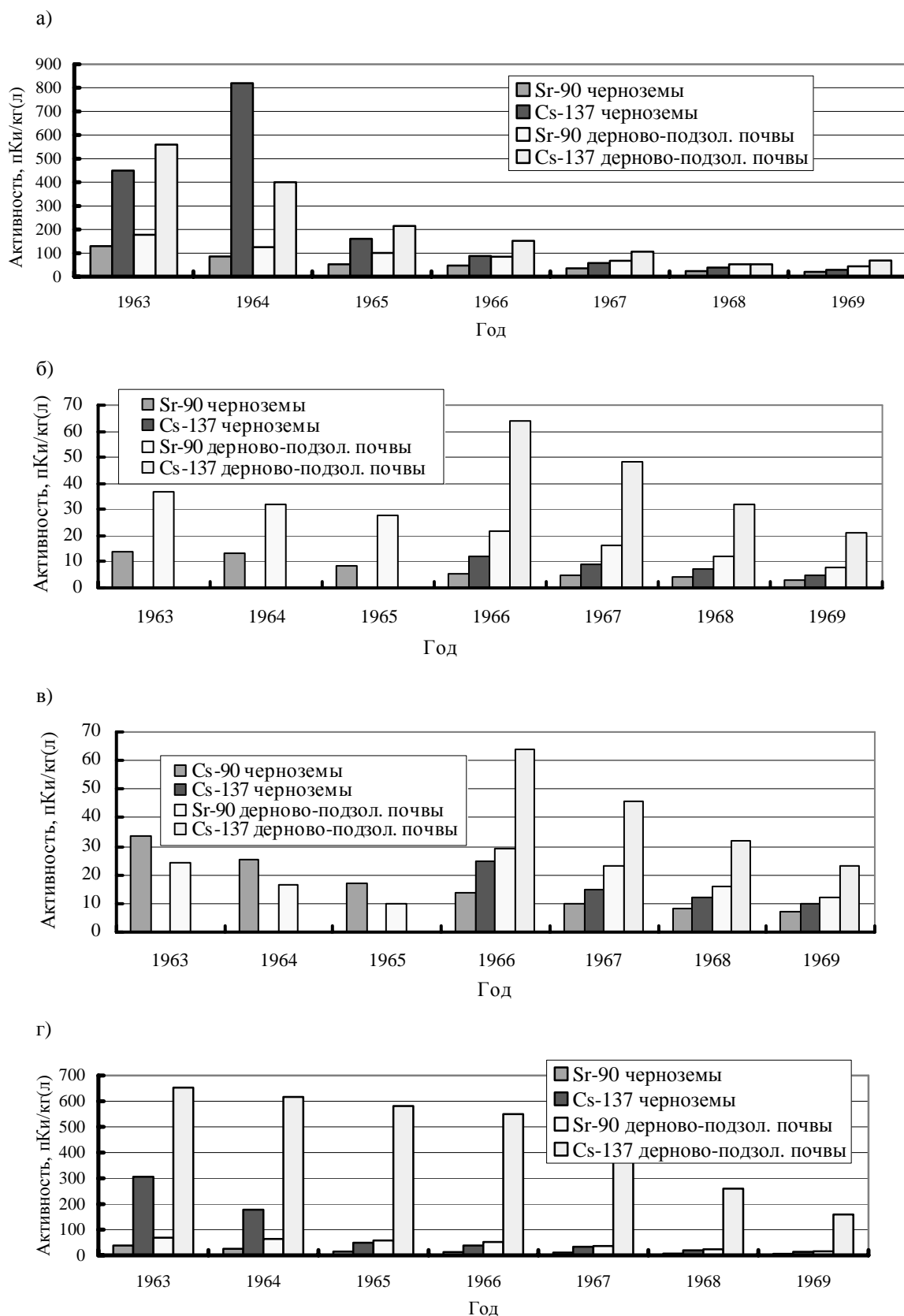


Рис. 3. Концентрация  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в урожаях 1963–1969 гг., пКи/кг(л) сырой массы: а – пшеница; б – картофель; в – капуста; г – молоко



Интенсивность миграции  $^{137}\text{Cs}$  в почвах, как показали исследования в районе Полесья, в большей мере зависит от количества и состава глинистых фракций, нежели от содержания в них калия.

Основные количества  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в рационах питания населения белорусского и украинского Полесья обусловлены продуктами из зерновых культур (хлеб, мука и крупы) на 45–70 %, молока и молочных продуктов (творог, сметана, масло, кефир, простокваша) – на 20 %, овощами и фруктами – на 10–15 %. В некоторых других регионах республики в 1966–1969 гг. около 40–70 % активности рациона за счет  $^{137}\text{Cs}$  были обусловлены продуктами животноводства (молоко и мясо). Необходимо отметить, что в 1966–1972 гг. произошли существенные изменения в структуре питания всех возрастных групп. Общее количество продуктов из зерновых

культур в рационе взрослых и детей уменьшилось на 15–20 %. Примерно в 1,2–1,5 раза увеличилось использование продуктов животноводства (молока, мяса и мясопродуктов) и в 1,3–1,6 раза – фруктов. Например, если в белорусском и украинском Полесье значительное место в рационе питания населения занимали грибы, лесные ягоды, картофель, капуста и хлеб из муки грубого помола, то на юге Украины основное количество потребляемых овощей использовалось из поливных участков. Кроме того, в состав рациона входило около 10 % рыбы. В промышленных районах суточные рационы питания населения включали наибольшее количество продуктов из зерновых культур (0,65–0,8 кг) и мясопродуктов (мясо и колбасные изделия – 0,22–0,28 кг) (табл. 7 и 8).

Табл. 7. Поступление  $^{137}\text{Cs}$  в организм человека с основными продуктами питания (по отношению к общему количеству), %

Продукт питания	1967 г.		1968 г.		1969 г.	
	Дети	Взрослые	Дети	Взрослые	Дети	Взрослые
Молоко	62/51*	37/30	61/49	30/23	60/50	32/27
Хлеб	5,5/27	11/41	6,5/31	10/49	5,5/25	10/48
Мясо	26/3	46/4	26/4	53/4	28/4	50/4
Овощи (картофель, капуста и др.)	6,5/19	6/25	6,5/16	7/23	7,3/21	8/21
Примечание – * – украинское Полесье/черноземные районы Украины						

Табл. 8. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в некоторых видах продукции в доаварийный период (белорусское и украинское Полесье) [14], пКи/кг

Продукт	Содержание	Продукт	Содержание
Зерновые культуры	95–177	Молоко	72–1050
Овощи	34–110	Молоко ( $^{90}\text{Sr}$ )	10–24
Картофель	60–143	Естественный травостой	456–2370
Свекла	13–62	Рыба	236–1540

Общая характерная особенность питания населения Украины – относительно более высокое потребление продуктов из зерновых культур (0,3–0,7 кг), чем в странах Западной Европы, несколько меньшее потребление продуктов животноводства (молока 0,35–0,65 кг), чем в Англии и США, а также фруктов (0,12–0,2 кг). Наблюдения за интенсивностью потребления основных пищевых продуктов населением с учетом возраста позволили выявить, что продукты из зерновых культур в наибольших количествах (0,6–0,85 кг/сут) поедаются населением в возрасте 18–35 лет; молоко и молочные продукты (0,6–0,65 г/сут) – в детском возрасте и лицами старше 50 лет; овощи и фрукты – в возрасте от 3 до 15 лет, а также 35–50 лет; мясо и мясопродукты – 16–35 лет.

В силу такого дифференцированного потребления продуктов питания суточные поступления  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  (определявшиеся по выводимым количествам и накоплению в волосах) населению в возрасте 50 лет и старше были в 2,3 раза меньше, чем в 36–49 лет (1966–1968 гг.). При изучении суточных поступлений  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  сельскому населению отдельных районов были выявлены существенные различия. Так, в северных районах Украины суточные поступления двух радиоизотопов взрослому населению в этот период оказались в 1,5–2,0 раза выше, чем на юге Украины, и в 1,3–1,5 раза выше, чем в Закарпатье. В среднем суточные поступления стабильного стронция взрослому населению Полесья несколько выше, чем в США (1,4 мг/г кальция) [23, 24].

В московском регионе в 1971–1974 гг. максимальное количество радиоактивных осадков (80–90 % годового) выпадало в весенне-летний период (март–август). В конце года плотность выпадения радиоактивных аэрозолей существенно снижалась. Количество радиоактивных осадков, выпавших в 1971 г., было примерно одинаковым с 1970 г. [25, 26]. Однако в течение 1972–1973 гг. оно значительно снизилось, чтобы в 1974 г. вновь возрасти до

1,7 кБк/м<sup>2</sup>. В течение 1978 г. выпадение радиоактивных осадков уменьшилось в четыре с лишним раза по сравнению с 1971 г. и составило всего лишь 0,81 кБк/м<sup>2</sup>, т. е. минимальное значение, начиная с наблюдений 1957 г. Плотность выпадений  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в г. Москва в 1973 г. снизилась до минимальных значений и составила 18,5 и 11,1 Бк/м<sup>2</sup> соответственно. Как всегда плотность выпадения радиоактивных аэрозолей в пригородной зоне была несколько меньше, чем в г. Москва.

Анализ изотопного состава радиоактивных осадков показал, что суммарная  $\beta$ -активность выпадений обусловлена присутствием  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{95}\text{Nb}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{144}\text{Ce}$ , празеодима-144,  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ . Наибольшее количество этих изотопов в выпавших осадках было обнаружено в 1971 г. В 1972 г. оно уменьшилось в 2–3 раза по сравнению с 1971 г., а в 1973 г. выпадение  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  снизилось еще во столько же раз.

Для контроля за содержанием  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в продуктах питания, загрязнение которых происходит вследствие поступления радионуклидов из почвы и выпадения их из атмосферы, проводился отбор проб молока, картофеля и капусты в трех районах Московской области (табл. 9). Видно, что содержание  $^{90}\text{Sr}$  в молоке и картофеле в период 1971–1973 гг. постепенно снижалось, но в 1974 г. несколько возросло. В капусте концентрация  $^{90}\text{Sr}$  в эти годы была практически одинаковой. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в анализируемых продуктах в 1972 г. несколько снизилось по сравнению с 1971 г., однако в 1973–1974 гг. их уровни загрязнения (кроме молока)  $^{137}\text{Cs}$  вновь увеличились.

Определение среднего содержания радионуклидов в пищевых продуктах, отобранных более чем в 100 регионах бывшего СССР, и их поступление с пищевым рационом выполнено расчетным путем на основе фактических данных о загрязненности продуктов питания в

рассматриваемый период и структуры питания населения страны [13, 27, 28]. Средние концентрации  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в основных пищевых продуктах и питьевой воде пред-

ставлены в табл. 10, из которой видно, что наибольшие концентрации нуклидов зарегистрированы в рыбе, особенно пресноводной, и сухом веществе чая.

Табл. 9. Содержание  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в продуктах питания, пКи/кг(л)

Продукт	Стронций-90				Цезий-137			
	1971 г.	1972 г.	1973 г.	1974 г.	1971 г.	1972 г.	1973 г.	1974 г.
Молоко	7,8±1,5	6,1±0,5	3,5±0,5	4,7±1,4	17,5±2,6	10,7±0,6	12,1±2,4	9,1±2,9
Картофель	5,1±1,1	3,7±0,1	3,2±1,1	7,2±2,2	10,3±1,3	7,3±0,6	12,4±4,1	15,2±3,4
Капуста	10,1±1,6	9,5±1,1	9,8±2,5	6,0±2,4	6,2±0,9	5,1±0,6	6,5±1,6	14,4±4,6

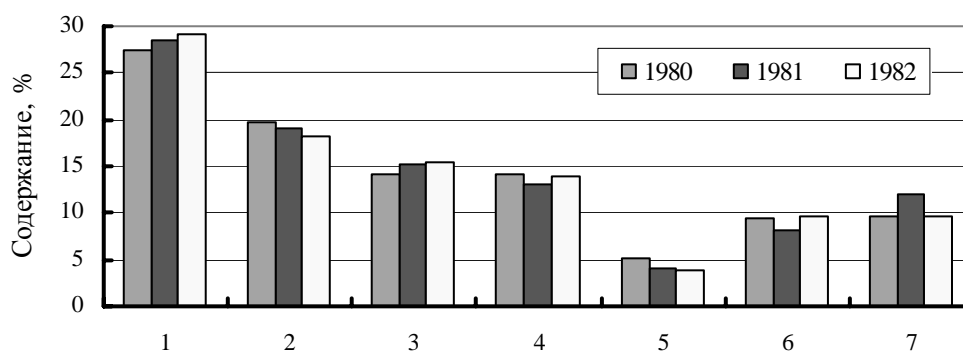
Табл. 10. Содержание  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в основных видах пищевых продуктов и воде на территории СССР в 1980–1982 гг., Бк/кг(л)

Продукт	1980 г.	1981 г.	1982 г.
$^{90}\text{Sr}$			
Хлеб пшеничный	18±1 (857)	19±1 (832)	17±0,7 (753)
Хлеб ржаной	23±2 (86)	23±2 (140)	23±2 (109)
Молоко	15±1 (1829)	15±1 (1619)	13±0,4 (1430)
Мясо:			
говядина	15±2 (562)	14±1 (348)	14±2 (316)
баранина	17±1 (85)	15±1 (52)	16±2 (57)
свинина	18±2 (277)	13±1 (134)	16±2 (153)
Картофель	17±1 (579)	18±1 (558)	17±1 (553)
Огурцы, помидоры	16±3 (46)	14±2 (46)	12±2 (39)
Яблоки, груши	15±4 (30)	12±3 (43)	11±3 (33)
Рыба морская разная (тушка)	30±4 (109)	47±9 (139)	30±5(150)
Рыба пресноводная разная (тушка)	126±55(248)	141±22 (266)	104±19(272)
Вода питьевая из открытых источников	2,9±0,2 (444)	2,4±0,2 (455)	1,9±0,3 (298)
Чай черный	2790±310(141)	1990±215(115)	2486±410(129)
$^{137}\text{Cs}$			
Хлеб пшеничный	28±2 (832)	26±1 (819)	21±2 (737)
Хлеб ржаной	39±7 (86)	35±4 (142)	44±10 (106)
Молоко	33±8 (1774)	33±4 (1592)	31±4 (1395)
Мясо:			
говядина	59± 11 (975)	67±18 (543)	54±11 (486)
баранина	48±18 (110)	36±4 (78)	33±4 (71)
свинина	49±5 (542)	40±4 (213)	49±8 (202)
Картофель	25±4 (416)	22±4 (450)	23±5 (423)
Огурцы, помидоры	16±2 (39)	14±2 (46)	17±3 (39)
Яблоки, груши	14±2 (32)	11±2 (33)	9±1 (32)
Рыба морская разная (тушка)	74±15 (115)	78±11 (152)	76±16 (155)
Рыба пресноводная разная (тушка)	144±40 (255)	126±19 (295)	122±22 (286)
Чай черный	1430±130(121)	1050±140(107)	1310±300 (119)
Примечание – В скобках указано число проб			

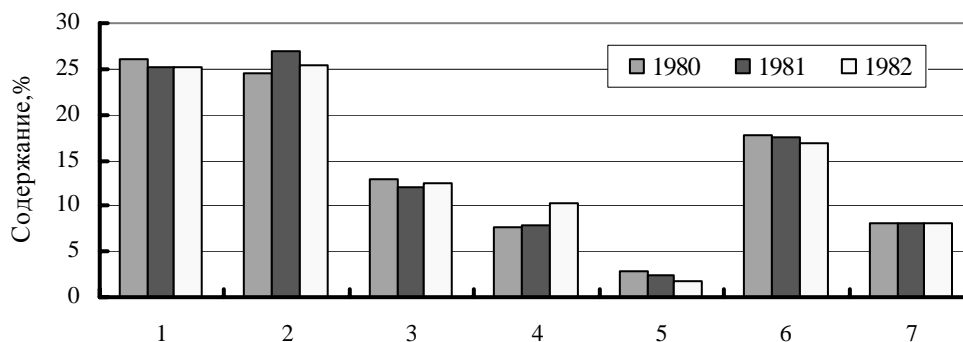
Более 60 % поступают с хлебом, молоком и молочными продуктами, картофелем (рис. 4). Следует отметить, что роль отдельных компонентов рациона у сельских и городских жителей несколько различается. По-прежнему в рационе сельских жителей хлеб, молоко и картофель играют более весомую роль как поставщики  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ , чем в рационе городского населения. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в организме определялось расчетным путем на основании дан-

ных [29], в соответствии с которыми отношение среднего содержания этого радионуклида в организме к среднему суточному поступлению с рационом составляет 2 (табл. 11). Полученные данные свидетельствуют о тенденции к уменьшению содержания радионуклидов в организме, что полностью отражает аналогичную тенденцию в поступлении  $^{137}\text{Cs}$  с рационом.

а)



б)



1

Рис. 4. Содержание  $^{90}\text{Sr}$  (а) и  $^{137}\text{Cs}$  (б) от всего рациона в компонентах рациона городского населения СССР (в среднем по стране): 1 – хлебопродукты; 2 – молочные продукты; 3 – картофель; 4 – овощи и бахчевые; 5 – фрукты; 6 – мясо; 7 – рыба

Табл. 11. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в организме жителей СССР, Бк/кг

Год	Сельское население	Городское население
1980	1,16	1,12
1981	1,10	1,06
1982	1,06	0,98

### Выводы

1. В результате деятельности человека повысилось содержание во внешней среде естественных и искусственных радионуклидов, а также их концентрация в продуктах питания, которые являются основным источником поступления  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в организм людей. Средние индивидуальные дозы облучения населения бывшего СССР в 1975–1976 гг. за счет глобальных выпадений радиоактивных продуктов ядерных взрывов составили 23 мкЗв/г., в том числе за счет внешнего облучения – 10 мкЗв и внутреннего – 13 мкЗв, за счет ядерной энергетики – всего  $46 \cdot 10^{-3}$  мкЗв [3]. Годовые дозы облучения населения от  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  за период 1963–1973 гг. снизились в 2 раза [15]. Средние индивидуальные дозы облучения от угольных электростанций и удобрений в 1975–1976 гг. составляли  $1,9 \cdot 10^{-3}$  и  $13,6 \cdot 10^{-2}$  мкЗв соответственно [3].

2. В силу специфических условий в отдельных регионах бывшего Союза дозы облучения населения выше, например у жителей севера, использующих в пищу мясо оленей. Значительно выше содержание радионуклидов в продуктах питания в районах локальных выпадений ядерных взрывов.

3. Полученные в ряде исследований данные показывают следующее:

- процент вклада  $^{90}\text{Sr}$  в активность среднегодовых выпадений повышался с 1962 по 1967 гг.;

- загрязненность радиоактивными изотопами продуктов питания находилась в тесной зависимости от плотности выпадений из атмосферы;

- отношение  $^{90}\text{Sr}$  к  $^{137}\text{Cs}$  в выпадениях изменялось от 1:1,2 до 1:2;

- за период с 1963 по 1969 гг. включительно активность рационов питания всех возрастных групп снизилась в 4–4,5 раза;

- поступление  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  с рационом питания сельскому населению было во все годы исследований несколько

большим, чем городскому.

4. При статистической обработке материалов исследований были выявлены:

- тесная связь между плотностью радиоактивных выпадений из атмосферы и суммой годовых осадков в период 1962–1966 гг. (коэффициент корреляции 0,6–0,8); в последующие годы наблюдений указанная связь отсутствовала;

- зависимость активности кумулятивного осадка почв от плотности выпадений из атмосферы (1963–1966 гг.), физико-химических свойств и их механического состава (1967–1969 гг.);

- высокая биологическая доступность  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  глобальных выпадений, о чем свидетельствовали численные значения коэффициентов перехода их из воздуха в пищевые продукты; доступность находящихся в кумулятивном осадке почв  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  для растений была значительно ниже, чем при поверхностном загрязнении растительности;

- уменьшение численных значений коэффициентов перехода  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  через корневую систему в пищевые продукты растительного происхождения с увеличением срока нахождения данных радиоизотопов в кумулятивном осадке почв.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моисеев, А. А. Цезий-137 в биосфере / А. А. Моисеев, П. В. Рамзаев. – М. : Атомиздат, 1975. – 387 с. : ил.

2. Алексахин, Р. М. Радиоактивное загрязнение почвы и растений / Р. М. Алексахин. – М. : Атомиздат, 1963. – 211 с. : ил.

3. Алексахин, Р. М. Ядерная энергия и биосфера / Р. М. Алексахин. – М. : Атомиздат, 1982. – 223 с. : ил.

4. Василенко, И. Я. Ж Радионуклиды глобальных выпадений в процессах питания / И. Я. Василенко // Журнал гигиены и эпидемиологии. – 1977. – Т. 21. – № 4. – С. 342–350.

5. Глобальные выпадения продуктов ядерных взрывов как фактор облучения человека / Под общ. ред. А. Н. Мареев. – М. : Атомиздат, 1980. – 385 с. : ил.

6. Итоги науки и техники. Радиационная биология. Проблемы радиоэкологии / Под общ. ред. Р. М. Алексахина. – М. : Атомиздат, 1983. – Т. 4. – 259 с. : ил.

7. **Марей, А. Н.** Радиационная коммунальная гигиена / А. Н. Марей, А. С. Зыкова, М. М. Сауров. – М. : Атомиздат, 1984. – 196 с. : ил.

8. **Павлоцкая, Ф. Л.** Миграция радиоактивных продуктов глобальных выпадений в почвах / Ф. Л. Павлоцкая. – М. : Атомиздат, 1974. – 327 с. : ил.

9. Радиобиология и радиоэкология сельскохозяйственных животных / Под общ. ред. Б. Н. Анненкова, И. К. Дибобеса и Р. А. Алексахина. – М. : Атомиздат, 1973. – 432 с.

10. Радиоактивность и пища человека : пер. с англ. / Под ред. Р. Рассела. – М. : Атомиздат, 1971. – 471 с.

11. **Федоров, Е. А.** Количественные характеристики зависимости между уровнями загрязнения внешней среды и концентрациями радиоизотопов в некоторых видах сельскохозяйственной продукции / Е. А. Федоров, И. Г. Романов // Сб. науч. тр. ВНИИ радиологии. – М. : ВНИИСХР, 1963.

12. **Bucovac, M. I.** et al. The Radioactive Fallout in Soils, Plants, Foods, Man. Amsterdam, 1965.

13. **Марей, А. Н.** Глобальные выпадения  $^{137}\text{Cs}$  и человек / А. Н. Марей, Р. М. Бархударов, Н. Я. Новикова. – М. : Атомиздат, 1974. – 238 с.

14. **Павлоцкая, Ф. Л.** О влиянии природных условий на содержание и распространение стронция в почвенном покрове / Ф. Л. Павлоцкая, З. Б. Тюрюканова. – Атомная энергия. – 1967. – № 2 (23). – С. 34–42.

15. **Павлоцкая, Ф. Л.** Соотношения между темпами поступления стронция-90 из атмосферы, содержанием его в почвенном покрове и количеством осадков / Ф. Л. Павлоцкая. – М. : Атомиздат, 1969. – 43 с.

16. **Гедеонов, Л. И.** Выпадения долгоживущих изотопов  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в окрестностях Ленинграда в 1961–1963 гг. / Л. И. Гедеонов, М. И. Жилкина // Радиоактивные изотопы в атмосфере и их использование в метеорологии. – М. : Атомиздат, 1965. – С. 342.

17. **Мухин, И. Е.** Радиоактивность внешней среды, пищевых продуктов и организма человека на Украине в период 1962–1969 гг. / И. Е. Мухин. – М. : Гос. комитет по использованию атомной энергии, 1978. – 15 с.

18. Изменения концентраций  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в различных продуктах питания в период с 1957 по 1967 гг. / Н. С. Швидко [и др.]. – М. : Атомиздат, 1969. – 19 с.

19. **Моисеев, А. А.** Особенности миграции глобального цезия-137 из дерновоподзолистых песчаных почв по пищевым цепочкам в организм человека / А. А. Моисеев, И. Е. Мухин, Р. К. Погодин. – М. : Атомиздат, 1967. – 65 с.

20. **Мухин, И. К.** Содержание стронция-90 в глобальных выпадениях на территории Украинской ССР в 1963–1966 гг. / И. К. Мухин, Д. И. Наговицина. – М. : Атомиздат, 1967. – 18 с.

21. **Прокофьев, О. Н.** Цезий-137 глобальных выпадений в продуктах питания и организме человека / О. Н. Прокофьев. – М. : Атомиздат, 1969. – 162 с.

22. **Перова, А. А.** О динамике накопления продуктов деления в овощах / А. А. Перова. – М. : Атомиздат, 1969. – 21 с.

23. **Степанов, Ю. С.** Некоторые закономерности загрязнения объектов внешней среды стронцием-90 в период стратосферных выпадений / Ю. С. Степанов, Р. М. Бархударов. – М. : Атомиздат, 1968. – 27 с.

24. Содержание  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в некоторых объектах внешней среды и в организме людей в 1958–1967 гг. / А. С. Зыкова [и др.]. – М. : Атомиздат, 1968. – 19 с.

25. Радиоактивность атмосферного воздуха и некоторых продуктов питания в г. Москве 1971–1974 гг. / А. С. Зыкова [и др.] // Вопросы питания. – 1978. – № 2. – С. 3–8.

26. Радиоактивность атмосферного воздуха и некоторых продуктов питания в г. Москве в 1968–1970 гг. / А. С. Зыкова [и др.] // Гигиена и санитария. – 1972. – № 2. – С. 38–41.

27. Стронций-90 в костной ткани населения Советского Союза (1957–1967 гг.) / Р. М. Бархударов [и др.] // Гигиена и санитария. – 1983. – № 10. – С. 81–82.

28. **Петухова, Э. В.** Содержание  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  глобального происхождения в рационе населения Советского Союза в 1974–1976 гг. / Э. В. Петухова, В. А. Книжников. – М. : Атомиздат, 1979. – 16 с.

29. **Петухова, Э. В.** Поступление стронция-90 и цезия-137 с пищевым рационом населению Советского Союза в 1965–1966 гг. в результате стратосферных выпадений / Э. В. Петухова, В. А. Книжников. – М. : Атомиздат, 1968. – 19 с.

Белорусско-Российский университет  
Материал поступил 03.03.2008

**A. F. Mironchik**

**The contents in ground, products and entering of  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  global fall-out into the organism of the people inhabitants before the failure on the Chernobyl atomic power station**

The paper outlines the latitude dependence of radioactive substances fall-out after nuclear weapon tests on the territory of the globe and the accumulation of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in different kinds of agricultural products produced in the former USSR before the Chernobyl disaster. The available data are compared with those obtained in food stuffs on the territory of other countries of the globe as to the contents of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$ .