

АО «Государственный научный центр Российской Федерации –
Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского»

ФЭИ – 3282

И.Н. Селиверстов, О.О. Перегудова, А.Г. Цикунов,
С.В. Забродская, Р.И. Мухамадеев

**Библиотеки коэффициентов перехода радионуклидов
в пищевые продукты**

ОБНИНСК 2018

УДК 614.876

**И.Н. Селиверстов, О.О. Перегудова, А.Г. Цикунов, С.В. Забродская,
Р.И. Мухамадеев**

Библиотеки коэффициентов перехода радионуклидов в пищевые продукты

Препринт ФЭИ – 3282, Обнинск, 2018, 46 с., 25 таблиц, 12 источников

Настоящая работа является продолжением работ по анализу данных и расчетных методик в программе ВЫБРОС-3.1 и развитию новых программных комплексов, предназначенных для расчетного моделирования радиационных последствий продолжительных и кратковременных выбросов при эксплуатации реакторов типа БН. В данной работе основное внимание уделяется библиотекам констант при расчете индивидуальных доз по пищевым цепочкам.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	4
1. Библиотеки констант при расчете индивидуальных доз по пищевым цепочкам в программе ВЫБРОС-3.1	5
2. Источники данных о коэффициентах перехода (КП) радионуклидов в пищевые продукты в библиотеках программы ВЫБРОС-3.1	7
2.1. Воздушный путь загрязнения при непрерывных выпадениях в течение года	9
2.2. Корневой путь загрязнения при непрерывных выпадениях в течение года	10
2.3. Воздушный путь загрязнения при кратковременных выпадениях	11
2.4. Корневой путь загрязнения при кратковременных выпадениях	11
3. Библиотеки в источниках данных о коэффициентах перехода (КП) радионуклидов в продукты питания и их сравнение	12
3.1. Воздушный длительный путь поступления	13
3.2. Корневой длительный путь поступления	15
3.3. Воздушный кратковременный путь поступления	17
3.4. Корневой кратковременный путь поступления	17
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	19
ПРИЛОЖЕНИЕ А: Источники данных о коэффициентах перехода	20
ПРИЛОЖЕНИЕ Б: Отношение коэффициентов перехода. Воздушный путь загрязнения, длительный выброс	40
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	46

ВВЕДЕНИЕ

Препринт является продолжением работ по анализу данных и расчетных методик в программе ВЫБРОС-3.1 (версии С16, далее по тексту ВЫБРОС-3.1) и развитию новых программных комплексов для расчетного моделирования радиационных последствий продолжительных и кратковременных выбросов при эксплуатации реакторов типа БН.

В данной работе основное внимание уделяется библиотекам констант при расчете индивидуальных доз по пищевым цепочкам.

В ВЫБРОС-3.1 используются 4 библиотеки, которые содержат данные о коэффициентах перехода радионуклидов в пищевые продукты:

- воздушным путем загрязнения при кратковременных и непрерывных выпадениях в течение года (2 библиотеки);
- корневым путем при тех же условиях (2 библиотеки).

Цель работы состояла в том, чтобы разобраться, во-первых, с рекомендуемыми данными в существующих нормативных документах к настоящему моменту и, во-вторых, проанализировать и привести к современным требованиям данные, используемые в библиотеках ВЫБРОС-3.1 и в дальнейшем в других новых программах.

В результате в препринте представлен обзор и анализ имеющихся источников данных, а также методика выбора, на основании которой приводятся рекомендации для корректировки соответствующих библиотек ВЫБРОС-3.1 и в разрабатываемых программах.

1. Библиотеки констант при расчете индивидуальных доз по пищевым цепочкам в программе ВЫБРОС-3.1

Для оценки эффективной дозы различных возрастных групп населения l вследствие перорального поступления радионуклидов (помимо Н-3 и С-14) в базовых документах [2÷8] используются следующие соотношения:

$$D_{ing,l}^i = \sum_m \sum_i A_{m,l}^i R_l^i, \quad (1.1)$$

где: $A_{m,l}^i$ – количество активностей нуклида i , поступивших в организм человека за время потребления загрязненного продукта m , для возрастной группы населения l , Бк/год;

R_l^i – дозовый коэффициент для оценки эффективной дозы нуклида i для возрастной группы l , Зв/Бк.

Н-3 и С-14 обладают особенностями поведения в окружающей среде, которые учитываются в моделях, используемых для оценки величины последствий их потребления. В настоящем отчете эти модели не рассматриваются.

Формулы для расчета A_m^i зависят от продолжительности выброса: длительного в течение года или кратковременного (разового).

В процессе накопления радионуклидов в съедобных частях растений различают воздушный (аэрозольный) и корневой (почвенный) пути поступления радионуклидов в растения и фураж. Под воздушным путем понимаются непосредственные загрязнения растений выпадениями из атмосферы, а под почвенным – глубинное загрязнение корнеобитаемого слоя почвы и поступления в растения путем корневого усвоения.

Для продолжительного (постоянного в течение года) выброса активность нуклида i , поступившего с продуктом m , в организм человека определяется соотношением [4, 5, 9]:

$$A_{m,l}^i = Q^i \cdot I_m^l \cdot \left[K_{S1,m}^i \cdot (P_{gn}^i(x,y) + 0,2 \cdot P_{Wn}^i(x,y)) + K_{S2,m}^i \cdot (P_{gn}^i(x,y) + P_{Wn}^i(x,y)) \right], \quad (1.2)$$

где: Q^i – активность радионуклида i в годовом выбросе, Бк/год;

I_m^l – годовое потребление продукта m возрастной группой населения l , кг(л);

$K_{S1,m}^i$ – коэффициент перехода (КП) радионуклида i в пищевые продукты при непрерывных выпадениях в течение года для воздушного пути загрязнения, м²/кг(л);

$K_{S2,m}^i$ – коэффициент перехода (КП) радионуклида i в пищевые продукты при непрерывных выпадениях в течение года для корневого пути загрязнения, м²/кг(л);

P_{gn}^i – среднегодовой метеорологический фактор сухого осаждения радионуклида i , м^{-2} ;

P_{Wn}^i – среднегодовой метеорологический фактор влажного выведения радионуклида i , м^{-2} ;

Для кратковременных выбросов в формулу расчета A_m^i в программе ВЫБРОС-3.1 [9] для большей корректности оценки последствий разовых выбросов были внесены поправки для учета сезонности выполнения сельскохозяйственных работ и их влияния на формирование дозы вынужденного облучения в соответствии с календарной датой выброса.

Активность нуклида i , поступившая с продуктом m в организм человека, для кратковременного выброса в программе ВЫБРОС-3.1 определяется следующим соотношением [9]:

$$A_{m,l}^i = Q^i \cdot I_m^l \cdot \left[K_{SK1,m}^i \cdot (P_{gn}^i(x,y) + 0,2 \cdot P_{Wn}^i(x,y)) + K_{SK2,m}^i \cdot (P_{gn}^i(x,y) + P_{Wn}^i(x,y)) \right] \times e^{-\lambda_i \cdot T_m} \cdot \frac{(1 - e^{-\lambda_i \cdot \tau_m})}{\lambda_i}, \quad (1.3)$$

где: $K_{SK1,m}^i$ – коэффициент перехода радионуклида i в пищевые продукты при кратковременных выбросах для воздушного пути загрязнения, $\text{м}^2/\text{кг}(\text{л})$;

$K_{SK2,m}^i$ – коэффициент перехода радионуклида i в продукты питания при кратковременных выбросах для корневого пути загрязнения, $\text{м}^2/\text{кг}(\text{л})$;

λ_i – постоянная распада радионуклида i , с^{-1} ;

T_m – период времени между выпадением нуклида i и сбором урожая продукта m ;

τ_m – период употребления продукта m .

В настоящем препринте рассматриваются следующие библиотеки данных, необходимые для расчета доз по пероральному пути поступления (1.1–1.3):

– библиотека коэффициентов перехода ($K_{S1,m}^i$) радионуклидов в пищевые продукты по воздушному пути загрязнения при продолжительном выбросе;

– библиотека коэффициентов перехода ($K_{S2,m}^i$) радионуклидов в продукты питания по корневому пути загрязнения при продолжительном выбросе;

– библиотека коэффициентов перехода ($K_{SK1,m}^i$) радионуклидов в пищевые продукты по воздушному пути загрязнения при кратковременном выбросе;

– библиотека коэффициентов перехода ($K_{SK2,m}^i$) радионуклидов в продукты питания по корневому пути загрязнения при кратковременном выбросе.

Эти библиотеки приведены в таблицах 7.10–7.13 раздела 7 технического отчета по ВЫБРОС-3.1 [9]. В них содержатся данные для 99 изотопов.

Значения коэффициентов перехода для Н-3 и С-14 в этих библиотеках относятся только к выпадениям в форме органических соединений, которые удерживаются на растениях и включаются в миграцию в форме растворенных в воде ионов [3].

Библиотеки включают в себя коэффициенты перехода для следующих категорий продуктов питания: МЯСО, МОЛОКО, ХЛЕБ, КАРТОФЕЛЬ, КАПУСТА, ФРУКТЫ, ОГУРЦЫ.

2. Источники данных о коэффициентах перехода (КП) радионуклидов в пищевые продукты в библиотеках программы ВЫБРОС-3.1

Для создания библиотек коэффициентов перехода (КП) радионуклидов в продукты питания в программе ВЫБРОС-3.1 были использованы основные отечественные справочники и документы [2–8]. Также рассматривались и зарубежные работы [10, 11], однако данные в них представлены исходя из других групп по пищевым цепочкам, а также вида почвы, но не пути поступления, как необходимо в нашем случае.

В результате анализа были выбраны только 4 источника. В дальнейшем для удобства применяются их сокращенные обозначения: справочники Гусев, 1991 г. – Г91 [3] и Гусев, 1986 г. – Г86 [2], документы Норм. тех. док., 1984 – НТД84 [4], МУ 2.6.5.010-2016 – МУ16 [5] и Проект РБ, 2016 – РБ16 [6].

Во время написания препринта был использован документ Проект РБ, 2016 [6], который находился на этапе рассмотрения, однако в 2017 году был утвержден РБ-134-17 [7]. Используемые нами библиотеки в обоих документах совпадают, поэтому обозначения в таблицах изменены не были. В методике МТ 1.2.1.15.1176-2016 – МТ16 [8] указанные значения КП радионуклидов в продукты питания совпадают с МУ16 [5], однако для Na-24 и I-131 значений для продуктов питания указано больше, что будет отмечено дальше.

В документах НТД84, МУ16, РБ16 [4–6] приведены нормированные на продуктивность коэффициенты накопления (коэффициенты перехода) «выпадение из атмосферы – содержание продуктов питания по стеблевому (воздушному) и корневому пути, для продуктов молочного происхождения [$\text{м}^2/\text{л}$], растительного или животного происхождения [$\text{м}^2/\text{кг}$] (коэффициенты $K_{S1,m}^i$, $K_{S2,m}^i$, $K_{SK1,m}^i$ и $K_{SK2,m}^i$ в формулах (1.2)–(1.3)).

В справочниках Г86, Г91 [2–3] приводятся коэффициенты перехода, связывающие уровень выпадения с поступлением радионуклида в организм отдельного индивидуума [м^2] для различных условий и пищевых цепочек. Введем обозначения для этих коэффициентов перехода, аналогичные приведенным выше: $Kp_{S1,m}^i$, $Kp_{S2,m}^i$, $Kp_{SK1,m}^i$ и $Kp_{SK2,m}^i$.

Из этих величин коэффициентов перехода [м²] в справочниках Г91 и Г86 могут быть получены нормированные на годовое потребление продуктов питания для различных пищевых цепочек коэффициенты накопления по воздушному и корневому пути загрязнения [м²/кг(л)], аналогичные приведенным в документах [4–6] (см. раздел 3):

$$K_{S1,m}^i = \frac{Kp_{S1,m}^i}{p_m}; \quad K_{S2,m}^i = \frac{Kp_{S2,m}^i}{p_m}; \quad K_{SK1,m}^i = \frac{Kp_{SK1,m}^i}{p_m}; \quad K_{SK2,m}^i = \frac{Kp_{SK2,m}^i}{p_m}, \quad (2.1)$$

где p_m – годовое потребление продуктов питания категории m .

Данные о потреблении различных продуктов питания за год (p_m) в справочниках [2–3] приводятся.

Следует отметить ряд особенностей использованных справочников и документов [2–6].

1. В справочниках Г91, Г86 и в документе НТД84 представлены данные о коэффициентах перехода по воздушном и корневому пути загрязнения как для длительного, так и кратковременного загрязнения.

2. В документе МУ16 приведены величины коэффициентов перехода по воздушному и корневому пути только для длительного выброса (коэффициенты $K_{S1,m}^i, K_{S2,m}^i$ в (1.2)).

3. В документе РБ16 приводятся значения коэффициентов перехода по воздушному и корневому пути только для кратковременного выброса (коэффициенты $K_{SK1,m}^i$ и $K_{SK2,m}^i$ в (1.3)).

4. Необходимо отметить также, что в справочнике Г86 нет данных о коэффициентах перехода для категории продуктов ОГУРЦЫ, а в документах НТД84 и РБ16 отсутствуют данные о коэффициентах КП для категории ФРУКТЫ.

5. И, наконец, для ряда радионуклидов в документах [4–6] коэффициенты перехода для всех продуктов при корневом пути загрязнения равны нулю, как при длительном, так и при кратковременном выбросе.

В таблице 1 приводится сводная информация по источникам КП, символ * указывает на одинаковые данные. Наибольшее сходство наблюдается в составе соответствующих библиотек пар источников (МУ16 и Г91) и (НТД84 и Г86), а также у источников НТД84 и РБ16.

Таблица 1 – Информация по источникам КП

№	Источники (единицы)	Длительный		Кратковременный	
		воздушный	корневой	воздушный	корневой
1	МУ16(м ² /кг (л))	*	*	-	-
2	РБ16(м ² /кг (л))	-	-	*	*
3	Г91(м ²)	*	*	+	+
4	Г86(м ²)	+	+	+	+
5	НТД84(м ² /кг(л))	+	+	*	*

Библиотека ПК ВЫБРОС-3.1, используемая для оценки доз от внешнего облучения, а также эквивалентных и эффективных доз вследствие ингаляционного облучения, содержит данные для 99 нуклидов, отобранных в результате анализа их влияния на дозообразование как в случае аварийных выбросов, так и выбросов при нормальной работе объектов использования атомной энергии [9]. Библиотека для оценки доз населения вследствие перорального поступления содержит данные для существенно меньшего количества нуклидов (54) [9]. В настоящем препринте, однако, рассматриваются данные о коэффициентах перехода для всех включенных в общую библиотеку радионуклидов.

В таблице А1 Приложения А представлены радионуклидные составы библиотек в источниках данных о коэффициентах перехода нуклидов в пищевые продукты с указанием библиотеки, которая входит в ПК ВЫБРОС-3.1, отмечается значком ХХХ.

Наличие соответствующего радионуклида в библиотеках справочников Г91 и Г86 отмечается в таблицах синим и зеленым цветом, а в документах МУ16, НТД84 и РБ16 – красным, оранжевым и желтым цветом.

Количество представленных нуклидов в таблице:

- | | |
|---|-------|
| - воздушный длительный путь загрязнения | – 60; |
| - корневой длительный | – 59; |
| - воздушный кратковременный | – 53; |
| - корневой кратковременный | – 51. |

Следует отметить, что нет ни одного источника, который включал бы в себя все возможные для рассматриваемых источников нуклиды.

При этом возникает вопрос, какому источнику отдавать приоритет.

Рассмотрим источники данных о коэффициентах перехода радионуклидов в пищевые продукты в библиотеках программы ВЫБРОС-3.1.

В таблицах А2÷А5 Приложения А представлены эти библиотеки соответственно для длительного выброса при поступлении нуклидов по воздушному и корневому пути (таблицы А2 и А3) и для кратковременного выброса при воздушном и корневом пути загрязнения (таблицы А4 и А5) с пометкой из какого источника взяты данные и примечаниями. В этих таблицах приводятся данные для всех нуклидов, включенных в библиотеки программы ВЫБРОС-3.1.

Рассмотрим таблицы А2÷А5 подробнее с точки зрения источников данных по КП в библиотеках ВЫБРОС-3.1.

2.1. Воздушный путь загрязнения при непрерывных выпадениях в течение года

При формировании библиотеки коэффициентов перехода радионуклидов использовались следующие источники данных: документы Г86, Г91, НТД84 и МУ16. Основным источником является МУ16 – Приложение А2. Основные комментарии вынесены в таблицу 2.

Таблица 2 – Основные замечания по данным о коэффициентах перехода для воздушного пути загрязнения при длительном выбросе

Радионуклид	Основной источник и замечания
Na-24	В МУ16 указано только для категорий ОГУРЦЫ и МОЛОКО, однако в МТ 1.2.1.15.1176-2016 данные КП есть для всех продуктов питания
Te-132 и Pr-143	НТД84 (данные для категории продуктов ФРУКТЫ были взяты из справочника Г91)
Np-239	НТД84
U	МУ16 – значения коэффициентов перехода одинаковы для всех радиоизотопов соответствующего элемента
Pu	МУ16 – значения коэффициентов перехода одинаковы для всех радиоизотопов соответствующего элемента
Am и Cm	МУ16 – коэффициенты перехода равны соответствующим коэффициентам перехода элемента Pu

2.2. Корневой путь загрязнения при непрерывных выпадениях в течение года

При формировании библиотеки коэффициентов перехода радионуклидов использовались следующие источники данных: Г86, Г91, документы МУ16 и НТД84. Основным источником является МУ16 – Приложение А3. При отсутствии данных о коэффициентах перехода радионуклида в МУ16, они берутся из НТД84/Г86/Г91.

Таблица 3 – Основные замечания по данным о коэффициентах перехода для корневого пути загрязнения при длительном выбросе

Радионуклид	Основной источник и замечания
Na-24	Данные из МУ16
Mo-99	Г86 – в МУ16 и НТД84 все коэффициенты перехода равны нулю. В Г86 и Г91 коэффициенты перехода отличны от нуля только для категории МОЛОКО. В ПК ВЫБРОС-3.1 также отличен от нуля коэффициент перехода для категории ОГУРЦЫ (Г86)
I-131	МУ16 (приведены данные только для категорий МЯСО, МОЛОКО, ОГУРЦЫ. В МТ16 есть данные для всех категорий)
Pr-143	НТД84 (данные для категории продуктов ФРУКТЫ из Г86/91)
U	МУ16 – значения коэффициентов перехода одинаковы для всех радиоизотопов соответствующего элемента
Pu	МУ16 – значения коэффициентов перехода одинаковы для всех радиоизотопов соответствующего элемента
Am и Cm	МУ16 – коэффициенты перехода равны соответствующим коэффициентам перехода элемента Pu

2.3. Воздушный путь загрязнения при кратковременных выпадениях

Основным источником при этом является НТД84. Как следует из таблицы А4 в Приложении, при построении библиотеки коэффициентов перехода были использованы следующие источники данных: документы НТД84/РБ16 и справочник Г86/91.

Таблица 4 – Основные замечания по данным о коэффициентах перехода для воздушного пути загрязнения при кратковременном выбросе

Радионуклид	Основной источник и замечания
Pm-147	Г86
U	НТД84 (РБ16) – значения коэффициентов перехода одинаковы для всех радиоизотопов соответствующего элемента
Pu	НТД84 (РБ16) – значения коэффициентов перехода одинаковы для всех радиоизотопов соответствующего элемента
Am и Cm	НТД84 (РБ16) – коэффициенты перехода равны соответствующим коэффициентам перехода элемента Pu (положение из МУ16)

В НТД84 коэффициенты перехода для категории ФРУКТЫ не заданы. В библиотеке для многих радионуклидов эти КП берутся из справочника Г86.

Следует отметить, что для двух нуклидов Na-22 и Ru-106 наблюдаются отличия в коэффициентах перехода этих двух библиотек при рассматриваемых условиях выброса и загрязнения (таблица 5).

Таблица 5 – Радионуклиды с различными значениями коэффициентов перехода (КП) по пищевым цепочкам (воздушный путь, разовый выброс) в библиотеках документов РБ16 и НТД8

№ нуклида	Радионуклид	Продукты	КП в библиотеке РБ16, м ² /кг	КП в библиотеке НТД84, м ² /кг
4	Na-22	МЯСО	6,2E-2	0,62
46	Ru-106	МЯСО	9,2E-1	0,58

В рассматриваемой библиотеке (таблица А4) для всех радионуклидов, кроме Zr-97, Rh-105, Te-131m, I-129, I-133 и Ce-143, коэффициенты перехода категории ФРУКТЫ отличны от нуля. Для их определения также использовался справочник Г86/91.

2.4. Корневой путь загрязнения при кратковременных выпадениях

В качестве источника данных здесь, наряду с НТД84, справочником Г86, рассматривается также документ РБ16, в котором коэффициенты перехода приняты в соответствии с величинами НТД84 – Приложение А5.

Таблица 6 – Основные замечания по данным о коэффициентах перехода для корневого пути загрязнения при кратковременном выбросе

Радионуклид	Основной источник и замечания
Pm-147	Уточнить источник данных
U	НТД84 (РБ16) – значения коэффициентов перехода одинаковы для всех радиоизотопов соответствующего элемента
Pu	НТД84 (РБ16) – значения коэффициентов перехода одинаковы для всех радиоизотопов соответствующего элемента
Am и Cm	НТД84 (РБ16) – коэффициенты перехода равны соответствующим коэффициентам перехода элемента Pu

В НТД84 коэффициенты перехода для категории ФРУКТЫ не заданы. В библиотеке для многих радионуклидов эти КП берутся из справочника Г86.

В следующем разделе представлены результаты сравнительного анализа по основным источникам данных.

3. Библиотеки в источниках данных о коэффициентах перехода (КП) радионуклидов в продукты питания и их сравнение

В библиотеках справочников и нормативных документов приводятся коэффициенты перехода, связывающие уровень выпадения с поступлением радионуклидов в организм отдельного индивидуума для четырех различных условий и семи пищевых цепочек: мясо, молоко, хлеб, картофель, капуста, фрукты и огурцы. Для работы были оцифрованы все необходимые данные, то есть создана электронная база данных по коэффициентам перехода, имеющая в различных источниках и нормативных документах.

Ввиду большого объема информации необходимо было выработать методику анализа имеющихся данных. При сравнении всех источников коэффициентов перехода была прослежена связь. Наибольшее сходство наблюдается в составе пар источников (МУ16 и Г91) и (НТД84 и Г86), а также у источников НТД84 и РБ16. В качестве примера приведены отношения коэффициентов перехода для длительного воздушного пути поступления (Приложение Б1 и Б2).

В результате были выделены основные подходы при рассмотрении четырех типов коэффициентов (воздушный длительный, корневой длительный, воздушный кратковременный, корневой кратковременный пути загрязнения).

Далее более детально будет представлен алгоритм анализа на первой группе данных – коэффициенты воздушного длительного пути поступления. Для других групп данных используется подобный алгоритм анализа с небольшими изменениями.

3.1. Воздушный длительный путь поступления

Основные данные для длительного воздушного пути загрязнения приводятся в таблице 7.

Таблица 7 – Длительный воздушный путь – источники данных

№	Источники (единицы)	Длительный, воздушный
1	НТД84-м ² /кг (л)	нет ФРУКТОВ, есть ОГУРЦЫ
2	Г86-м ²	нет ОГУРЦОВ
3	Г91-м ²	+
4	МУ16-м ² /кг (л)	+

Описывая и характеризуя данные по длительному воздушному пути загрязнения, необходимо отметить следующее:

1. Анализ проведенных расчетов показал, что коэффициенты перехода в библиотеках одного вида различных источников определялись по двум разным (отличающимся) методикам: одна – для источников Г86 и НТД84, другая – для Г91 и МУ16.

2. Таким образом, мы можем сгруппировать в пары источники данных НТД84 и Г86, Г91 и МУ16. Нормы потребления продуктов, как видно из таблицы 8, в Г86 отличаются от Г91, кроме мяса и молока.

Таблица 8 – Потребление продуктов питания за год в справочниках Г86 и Г91, кг(л)/год

Продукты	Мясо	Молоко	Хлеб	Картофель	Капуста	Фрукты	Огурцы
Г86							
Нормы	57	255,5	160	115	22	35	
Г91							
Нормы	57	255,5	162,4	116,8	73	65,7	18,25

3. Отметим, что в Г86 вводятся данные по фруктам, но не содержатся данные по огурцам, как в НТД84 (таблица 7). Также в Г86 был расширен список нуклидов и введены новые данные по следующим нуклидам: Na-24, P-32, S-35, K-42, Ca-45, Ca-47. (По непонятным причинам в Г86 отсутствуют данные по Zr-97, Rh-105, Te-131m, I-129, Ce-143, Sm-153, U-236, Pu-241, Pu-242).

Анализ данных проводился в несколько шагов:

Шаг 1. Было предложено провести сравнение данных сначала по среднему стандарту потребления продуктов, которые зафиксированы в Г91 и Г86 и приведены в таблице 8.

В результате для каждого нуклида были найдены эти нормы путем отношения данных Г86 к НТД84. Аналогичная процедура была выполнена для другой группы данных Г91 и МУ16.

В первом случае не было найдено сильных отклонений от принятых норм потребления относительно Г86.

Во втором были выявлены значительные расхождения для нуклидов и продуктов питания, приведенные в таблице 9. В первой строке приводится стандарт потребления в Г91 (кг), дальше для каждого нуклида в двух строчках – расчетное значение и его относительное отклонение по отношению к стандарту в %, вычисляемое по формуле $100 \times (\text{значение} - \text{стандарт}) / \text{стандарт}$. Значения по нуклидам даны в таблице с одним знаком, этого достаточно для выявления ошибок.

Таблица 9 – Расхождение по нуклидам в нормах потребления Г91: воздушный длительный путь поступления, %

Источник, № нуклида	Нуклид	Мясо	Молоко	Хлеб	Картофель	Капуста	Фрукты	Огурцы
Г91		57	255,5	162,425	116,8	73	65,7	18,25
7	P-32	57,3	255,6	192,5	113,3	72,2	12,2	17,9
	%	0,6	0,0	18,5	3,0	1,1	81,4	1,9
46	Ru-106	541,7	253,8	162,8	116,3	72,1	65,7	18,3
	%	850,3	0,6	0,2	0,4	1,2	0,0	0,5
76	Ba-140	56,7	245,5	157,4	118,2	73,2	6,4	17,6
	%	0,6	3,9	3,1	1,2	0,2	90,3	3,3

Видно, что по данным для P-32 (ХЛЕБ, ФРУКТЫ), Ru-106 (МЯСО) и Ba-140 (ФРУКТЫ) возможно, требуется корректировка данных. По другим нуклидам наблюдаемое максимальное расхождение в нормах потребления составило 5,9 %, что можно объяснить погрешностью округления чисел.

Шаг 2. Второй шаг был связан с получением расхождений самих коэффициентах перехода двух методик. Были получены соотношения данных Г86 к Г91 (m^2). В таблице 10 приводится различие по Na-24. Однако в этом препринте не будет представлен анализ методик, по которым были получены данные коэффициенты, поскольку цель работы заключается только в сравнении данных.

Таблица 10 – Расхождение в коэффициентах перехода воздушный длительный путь поступления Г86 к Г91

№ нуклида	Нуклид	Мясо	Молоко	Хлеб	Картофель	Капуста	Фрукты	Огурцы
5	Na-24	2,59	2,28		23,00	8,57	55,13	

В связи с тем, что необходимые данные по Na-24 есть в документе МТ 1.2.1.15.1176-2016, рекомендуется использовать их.

Шаг 3. На основе данных о составе библиотек одного типа в разных источниках (таблица А1) и сравнении их составов с соответствующей библиотекой в программе ВЫБРОС-3.1 предлагаются рекомендации по корректировке этой библиотеки. В таблице 11 приводятся рекомендации по обновлению данных для Na-24, S-35, K-42, Ca-45, Ca-47, Te-132, Pr-143, Pm-147, Np-239.

Таблица 11 – Рекомендации по корректировке коэффициентов перехода воздушного длительного пути поступления в программе ВЫБРОС-3.1, м²/кг(л)

Источник	Нуклид	Мясо	Молоко	Хлеб	Картофель	Капуста	Фрукты	Огурцы
МТ16	Na-24	1,0E-11	7,06E-05	0	8,6E-10	2,88E-09	1,19E-09	4,33E-06
Г91	S-35	7,54E-2	1,45E-2	8,93E-3	3,08E-04	1,37E-03	1,35E-03	3,73E-03
Г86	K-42	7,54E-14	6,26E-06	0	1,04E-08	4,27E-08	6,57E-08	0
Г86	Ca-45	2,81E-04	4,31E-04	1,38E-02	5,57E-04	2,82E-03	2,86E-03	0
Г86	Ca-47	2,28E-07	3,91E-06	2,94E-10	2,61E-06	1,05E-05	1,60E-05	0
Г91	Te-132	1,07E-05	2,39E-05	2,34E-13	2,91E-07	9,73E-07	3,96E-07	2,79E-04
Г91	Pr-143	2,46E-05	4,70E-08	1,03E-05	1,28E-05	4,66E-05	2,89E-05	1,75E-03
Г86	Pm-147	9,47E-03	4,70E-06	3,44E-02	1,04E-03	5,45E-03	4,57E-03	0
НТД84	Np-239	3,40E-11	9,80E-11	0	6,20E-07	2,50E-06	0	1,30E-03

В последующих разделах аналогичная информация для других путей поступления приводится кратко.

3.2. Корневой длительный путь поступления

Аналогичный анализ был проведен для коэффициентов корневого длительного пути поступления. Для второй группы данных также можно объединить источники в пары НТД84 и Г86, Г91 и МУ16, в которых присутствуют данные по фруктам в Г86, но не содержатся данные по огурцам, как в НТД84.

Шаг 1. Проведено сравнение данных по среднему стандарту потребления (таблица 8). Для каждого нуклида были найдены эти нормы путем отношения данных Г86 и НТД84. Подобная процедура была выполнена для другой группы данных Г91 и МУ16. Как в первом, так и во втором случае, были выявлены значительные расхождения, приведенные в таблице 12. Так же, как и в таблице 9, сначала приводится стандарт потребления в Г86 или Г91 (кг), дальше для каждого радионуклида в двух строчках – расчетное значение и его относительное отклонение по отношению к стандарту в %.

Таблица 12 – Расхождение по нуклидам в нормах потребления Г86 и Г91: корневой длительный путь поступления, %

Источник, № нуклида	Нуклид	Мясо	Молоко	Хлеб	Картофель	Капуста	Фрукты	Огурцы
Г86		57	255,5	160	115	22	35	
4	Na-22	54,2	263,3	164,4	1150,0	22,0		
	%	5,0	3,1	2,7	900,0	0,0		
72	Cs-134	56,9	262,9	166,7	115,3	52,9		
	%	0,2	2,9	4,2	0,3	140,6		
Г91		57	255,5	162,4	116,8	73	65,7	18,25
14	Cr-51	56,00	250,0				0,230	
	%	1,8	2,2				99,6	
15	Mn-54	57,1	254,0	161,3	116,2	72,7	647,1	17,9
	%	0,3	0,6	0,7	0,5	0,4	884,9	2,2
18	Fe-59	0,0719	0,243					
	%	99,9	99,9					

Как следует из таблицы 12, по данным для Na-22 (КАРТОФЕЛЬ), Cs-134 (КАПУСТА), Cr-51 (ФРУКТЫ), Mn-54 (ФРУКТЫ) и Fe-59 (МЯСО, МОЛОКО), возможно, необходима корректировка данных.

Шаг 2. При сравнении коэффициентов корневого длительного пути поступления наблюдается значительная разница в значениях из-за методов их расчета.

Шаг 3. В результате проведенных исследований в таблице 13 представлены рекомендации для обновления библиотеки коэффициентов перехода корневого длительного пути поступления в программе ВЫБРОС-3.1.

Таблица 13 – Рекомендации по корректировки коэффициентов перехода корневого длительного пути поступления в программе ВЫБРОС-3.1, м²/кг(л)

Источник	Нуклид	Мясо	Молоко	Хлеб	Картофель	Капуста	Фрукты	Огурцы
МТ16	Na-24	0	6,30E-13	0	0	0	0	0
Г91	S-35	3,33E-04	6,26E-05	5,20E-05	3,77E-05	3,29E-05	4,26E-05	4,99E-05
Г86	Ca-45	2,81E-08	4,31E-08	1,63E-05	4,52E-06	4,36E-06	6,00E-06	0
Г86	Ca-47	0	2,07E-14	0	0	0	0	0
НТД84	Y-90	0	0	0	0	0	0	0
Г91	Mo-99	4,21E-13	1,17E-11	0	0	0	0	0
МТ16	I-131	2,46E-09	1,80E-08	3,10E-15	7,40E-14	5,50E-14	1,20E-13	1,92E-09
Г91	Te-132	5,44E-10	1,21E-09	0	0	0	0	2,58E-12
Г91	I-133	0	1,37E-12	0	0	0	0	0
Г91	Pr-143	2,98E-11	5,87E-14	5,23E-13	2,57E-12	2,05E-12	3,04E-12	1,32E-09
Г86	Pm-147	6,84E-07	3,41E-10	3,63E-05	9,57E-06	9,55E-06	1,03E-05	0
НТД84	Np-239	0	0	0	0	0	0	0

3.3. Воздушный кратковременный путь поступления

При переходе к данным по кратковременным выбросам как воздушного, так и корневого пути загрязнения следует отметить, что руководящим основным документом по коэффициентам является РБ16, который совпадает с данными НТД84. В этой ситуации в анализе участвовали только данные 3 источников.

Таблица 14 – Воздушный кратковременный путь – источники данных

№	Источники (единицы)	Кратковременный, воздушный
1	НТД84 (м ² /кг (л))	Нет фруктов
2	Г86 (м ²)	Нет огурцов
3	Г91 (м ²)	+
4	РБ16 (м ² /кг (л))	+

Шаг 1. При сравнении по нормам потребления не было выявлено никаких значимых отклонений.

Шаг 2. При сравнении коэффициентов существенная разница в значениях есть также из-за методов расчета.

Шаг 3. Рекомендации по обновлению библиотеки данными для воздушного кратковременного пути поступления приводятся в таблице 15.

Таблица 15 – Рекомендации по обновлению данных воздушный кратковременный путь поступления, м²/кг(л)

Источник	Нуклид	Мясо	Молоко	Хлеб	Картофель	Капуста	Фрукты	Огурцы
Г91	Н-3	2,63E-01	2,35E-01	2,96E-01	7,36E-03	2,60E-02	1,52E-02	1,32E-02
Г91	С-14	1,37E-01	1,80E-01	3,02E-01	7,62E-03	2,74E-02	1,52E-02	1,32E-02
Г86	Na-24	5,09E-11	3,17E-04	0	9,57E-07	3,95E-06	1,11E-05	0
Г86	P-32	3,68E-03	3,91E-03	6,88E-04	4,35E-04	1,73E-03	2,86E-03	0
Г86	S-35	4,04E-01	7,05E-02	1,63E-01	3,13E-03	1,27E-02	1,57E-02	0
Г86	K-42	1,49E-13	1,25E-05	0	5,39E-07	2,14E-06	6,29E-06	0
Г86	Ca-45	9,30E-04	2,00E-03	3,56E-01	4,96E-03	2,00E-02	2,06E-02	0
Г86	Ca-47	4,56E-07	7,83E-06	1,50E-08	8,52E-05	3,41E-04	6,86E-04	0

3.4. Корневой кратковременный путь поступления

Как отмечалось ранее, при переходе к данным по кратковременным выбросам как воздушного, так и корневого пути загрязнения, следует отметить, что руководящим основным документом по коэффициентам является РБ16, который совпадает с данными НТД84. В этой ситуации в анализе участвовали только данные 3 источников.

Шаг 1. При сравнении по нормам потребления не были выявлено отклонения.

Шаг 2. При сравнении коэффициентов были выявлены значительные расхождения при расчете отношения КП.

Шаг 3. Рекомендации по обновлению библиотеки данными для воздушного кратковременного пути поступления приводятся в таблице 16.

Таблица 16 – Рекомендации по обновлению данных корневой кратковременный путь поступления, м²/кг(л)

Источник	Нуклид	Мясо	Молоко	Хлеб	Картофель	Капуста	Фрукты	Огурцы
Г91	H-3	1,75E-01	1,60E-01	4,80E-01	1,37E-01	1,37E-01	1,16E-01	2,85E-02
Г86	C-14	4,04E-01	5,24E-01	2,19E+00	6,08E-01	6,16E-01	5,02E-01	1,21E-01
Г86	P-32	2,28E-14	2,43E-14	2,00E-14	2,26E-13	2,23E-13	7,14E-13	0
Г86	S-35	1,54E-05	2,70E-06	1,31E-05	4,35E-06	4,27E-06	1,00E-05	0
Г86	Ca-45	1,28E-08	2,82E-08	1,06E-04	2,52E-05	2,55E-05	4,86E-05	0
Г86	Ba-140	0	0	1,31E-15	2,43E-14	2,41E-14	7,71E-14	0
НТД84	Pm-147	5,96E-07	5,09E-10	8,75E-04	1,57E-04	1,50E-04	2,31E-04	0
НТД84	U-236	5,30E-07	2,70E-06	7,10E-11	1,20E-11	1,20E-11	0	2,80E-12

В результате сравнительного анализа было выявлено, что однотипные коэффициенты перехода с одинаковой единицей измерения, рассчитанные по разным методикам, могут значительно отличаться друг от друга, как видно из таблиц этого раздела.

В предлагаемых рекомендациях по внесению корректировок в библиотеки данных по КП приоритеты устанавливались в первую очередь из действующих нормативных документов, а далее на основании физических соображений, авторитета источника, года издания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящем препринте представлен обзор и анализ использованных в программе ВЫБРОС-3.1 источников данных о коэффициентах перехода радионуклидов в пищевые продукты.

Рассмотрены 7 отечественных источников: документы НТД84 [4], МУ16 [5], РБ16 [6], РБ17 [7], МТ16 [8], а также справочники Г91 [3], Г86 [2]. Источники данных содержат 16 различных библиотек коэффициентов перехода радионуклидов для воздушного и корневого пути загрязнения при длительном и кратковременном выбросе. Действующие в настоящее время нормативные документы МУ16 [5] и РБ17 [7] рекомендуют использовать представленные в них константы соответственно для длительного и кратковременного выброса. В препринте показано, что ни один источник не включает в себя все возможные для рассматриваемых источников радионуклиды. Поэтому, если создаваемая библиотека должна содержать коэффициенты перехода всех возможных радионуклидов, придется рассматривать разные источники данных.

В нормативном документе РБ16 [6, с. 15] также записано: «Если значения коэффициентов $K_{1,n}^r$ и $K_{2,n}^r$ для радионуклида r , присутствующего в аварийном выбросе, отсутствуют в таблицах 3 и 4 приложения 2 настоящего руководства по безопасности, рекомендуется принимать значения $K_{1,n}^r$ и $K_{2,n}^r$ из доступных справочных материалов». Здесь $K_{1,n}^r$ и $K_{2,n}^r$ – коэффициенты перехода радионуклидов для воздушного и корневого пути загрязнения при кратковременном выбросе. В связи с этим, в создаваемых библиотеках констант появляются КП из основных и дополнительных источников.

В препринте представлена работа по анализу и обновлению таких библиотек в программе ВЫБРОС-3.1. Показано, что библиотеки в программе ВЫБРОС-3.1 состоят, в основном из констант библиотек источников МУ16 и НТД84 (РБ16) в остальных случаях используются данные из библиотек справочников Г91 и Г86.

В результате была получена электронная база данных по всем отечественным источникам данных. Представлена методика выбора КП при создании рабочих библиотек констант на основе подробной информации о коэффициентах перехода радионуклидов в библиотеках источников и полученных расчетных данных о соотношениях КП в библиотеках разных источников. Методика позволяет получить более полные библиотеки КП для расчета доз по пищевым цепочкам.

На основе представленной методики и анализа данных предложены рекомендации по корректировке в составе библиотек КП программы ВЫБРОС-3.1 и других разрабатываемых программ, предназначенных для расчетного моделирования радиационных последствий продолжительных и кратковременных выбросов при эксплуатации реакторов типа БН.

ПРИЛОЖЕНИЕ А: Источники данных о коэффициентах перехода

Таблица А1 – Источники данных о коэффициентах перехода нуклидов по пищевым цепочкам (КП)

№ п/п	Нуклид	ВОЗДУШНЫЙ ДЛИТЕЛЬНЫЙ			КОРНЕВОЙ ДЛИТЕЛЬНЫЙ			ВОЗДУШНЫЙ КРАТКОВРЕМЕННЫЙ			КОРНЕВОЙ КРАТКОВРЕМЕННЫЙ						
		МУ16 (м ² /кг)	Г91 (м ²)	Г86 (м ²)	МУ16 (м ² /кг)	Г91 (м ²)	Г86 (м ²)	РБ16 (м ² /кг)	НТД84 (м ² /кг)	Г91 (м ²)	Г86 (м ²)	РБ16 (м ² /кг)	НТД84 (м ² /кг)	Г91 (м ²)	Г86 (м ²)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	H-3	XXX				XXX											
2	C-14	XXX				XXX											
3	N-13																
4	Na-22	XXX				XXX					XXX				XXX		
5	Na-24	XXX				???											
6	Si-31																
7	P-32	XXX				XXX											
8	S-35																
9	Cl-36																
10	Ar-41																
11	K-42																
12	Ca-45																
13	Ca-47																
14	Cr-51	XXX				XXX											
15	Mn-54	XXX				XXX											
16	Mn-56																
17	Fe-55	XXX				XXX											
18	Fe-59	XXX				XXX											
19	Co-58	XXX				XXX											
20	Co-60	XXX				XXX											
21	Ni-63																

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
22	Ni-65																
23	Cu-64																
24	Kr-85m																
25	Kr-85																
26	Kr-87																
27	Kr-88																
28	Kr-89																
29	Rb-88																
30	Rb-89																
31	Sr-89	XXX				XXX					XXX				XXX		
32	Sr-90	XXX				XXX					XXX				XXX		
33	Sr-91																
34	Sr-92																
35	Y-90		XXX				???				XXX				XXX		
36	Y-91m																
37	Y-91		XXX				XXX				XXX				XXX		
38	Zr-95	XXX				XXX					XXX				XXX		
39	Zr-97		XXX				XXX				XXX				XXX		
40	Nb-95	XXX				XXX					XXX				XXX		
41	Nb-97																
42	Mo-99	XXX				XXX			???		XXX				XXX		
43	Tc-99m	XXX				XXX					XXX				XXX		
44	Ru-103	XXX				XXX					XXX				XXX		
45	Ru-105																
46	Ru-106	XXX				XXX					XXX				XXX		
47	Rh-105		XXX				XXX				XXX				XXX		
48	Ag-110m	XXX				XXX					XXX				XXX		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
49	Sb-127																
50	Sb-129																
51	Te-127m		XXX				XXX				XXX				XXX		
52	Te-127																
53	Te-129m		XXX				XXX				XXX				XXX		
54	Te-129																
55	Te-131m		XXX				XXX				XXX				XXX		
56	Te-131																
57	Te-132		XXX				XXX				XXX				XXX		
58	I-129		XXX				XXX				XXX				XXX		
59	I-130																
60	I-131	XXX				XXX					XXX				XXX		
61	I-132																
62	I-133	XXX				XXX					XXX			XXX			
63	I-134																
64	I-135																
65	Xe-131m																
66	Xe-133m																
67	Xe-133																
68	Xe-135m																
69	Xe-135																
70	Xe-137																
71	Xe-138																
72	Cs134	XXX				XXX					XXX				XXX		
73	Cs136																
74	Cs-137	XXX				XXX					XXX				XXX		
75	Cs-138																

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
76	Ba-140	XXX				XXX					XXX			XXX			
77	La-140		XXX				XXX				XXX				XXX		
78	Ce-141	XXX				XXX					XXX				XXX		
79	Ce-143		XXX				XXX				XXX				XXX		
80	Ce-144	XXX				XXX					XXX				XXX		
81	Pr-143		XXX				XXX				XXX				XXX		
82	Pr-144	XXX				XXX											
83	Pm-147				???				???				???				???
84	Sm-153		XXX				XXX				XXX				XXX		
85	U-235	XXX				XXX					XXX				XXX		
86	U-236	XXX				XXX					XXX				???		
87	U-238	XXX				XXX					XXX				XXX		
88	Np-239		???				???				XXX				XXX		
89	Pu-238	XXX				XXX					XXX				XXX		
90	Pu-239	XXX				XXX					XXX				XXX		
91	Pu-240	XXX				XXX					XXX				XXX		
92	Pu-241	XXX				XXX					XXX				XXX		
93	Pu-242	XXX				XXX					XXX				XXX		
94	Am-241	XXX				XXX					???				???		
95	Am-242m	XXX				XXX					???				???		
96	Am-243	XXX				XXX					???				???		
97	Cm-242	XXX				XXX					???				???		
98	Cm-243	XXX				XXX					???				???		
99	Cm-244	XXX				XXX					???				???		

Таблица А2 – Коэффициенты перехода (КП) по пищевым цепочкам – воздушный путь, длительный путь, длительный выброс – в библиотеке программы Выхрос-3.1 (С16), (м²/кг)

№ п/п	Нуклид	Мясо	Молоко	Хлеб	Картофель	Капуста	Фрукты	Огурцы	Источник	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	H-3	9,30E-02	8,20E-02	7,20E-02	1,30E-03	6,30E-03	4,70E-03	4,40E-03	МУ16	
2	C-14	4,80E-02	6,30E-02	7,50E-02	1,30E-03	6,60E-03	4,70E-03	4,40E-03	МУ16	
3	N-13									
4	Na-22	1,20E-01	1,80E-01	6,00E-02	1,10E-03	5,50E-03	4,30E-03	4,40E-03	МУ16	
5	Na-24		7,10E-05					4,30E-06	МУ16	
6	Si-31									
7	P-32	7,50E-04	9,00E-04	1,20E-05	1,50E-05	5,40E-05	1,80E-04	1,90E-03	МУ16	
8	S-35									
9	Cl-36									
10	Ar-41									
11	K-42									
12	Ca-45									
13	Ca-47									
14	Cr-51	6,30E-05	7,50E-05	4,00E-04	5,60E-05	2,20E-04	1,80E-04	2,80E-03	МУ16	
15	Mn-54	2,50E-03	7,10E-04	3,90E-02	8,20E-04	3,80E-03	3,40E-03	4,20E-03	МУ16	
16	Mn-56		1,20E-08		2,90E-12	1,10E-11		3,30E-08	НГД84	
17	Fe-55	5,30E-02	2,20E-03	6,10E-02	1,10E-03	5,50E-03	4,30E-03	4,30E-03	МУ16	
18	Fe-59	1,90E-03	6,30E-05	1,90E-03	1,20E-04	5,10E-04	5,00E-04	3,30E-03	МУ16	
19	Co-58	1,70E-02	1,30E-03	6,00E-03	2,40E-04	1,00E-03	1,10E-03	3,60E-03	МУ16	
20	Co-60	5,80E-02	3,90E-03	6,70E-02	1,20E-03	6,00E-03	4,60E-03	4,30E-03	МУ16	
21	Ni-63	1,30E-02	7,30E-03	4,10E-02	1,20E-03	6,50E-03		4,40E-03	НГД84	
22	Ni-65									
23	Cu-64									

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
24	Kr-85m									
25	Kr-85									
26	Kr-87									
27	Kr-88									
28	Kr-89									
29	Rb-88									
30	Rb-89									
31	Sr-89	3,50E-06	1,70E-05	2,70E-03	1,50E-04	6,30E-04	6,20E-04	3,30E-03	МУ16	
32	Sr-90	1,10E-04	1,60E-03	7,40E-02	1,30E-03	6,50E-03	4,70E-03	4,40E-03	МУ16	
33	Sr-91									
34	Sr-92									
35	Y-90	8,60E-09	6,30E-09		7,40E-07	3,00E-06		1,40E-03	НТД84	
36	Y-91m									
37	Y-91	4,40E-05	7,60E-08	2,90E-03	2,00E-04	9,70E-04		4,10E-03	НТД84	
38	Zr-95	4,90E-03	8,20E-07	4,80E-03	2,10E-04	8,90E-04	9,00E-04	3,60E-03	МУ16	
39	Zr-97	8,20E-12	7,70E-10		2,90E-08	1,20E-07		1,90E-04	НТД84	
40	Nb-95	9,10E-03	9,80E-05	9,10E-04	8,40E-05	3,30E-04	3,00E-04	3,00E-03	МУ16	
41	Nb-97									
42	Mo-99	1,30E-06	3,50E-05		1,60E-07	5,60E-07	2,30E-07	2,00E-04	МУ16	
43	Tc-99m	2,30E-01	8,50E-02	4,10E-02	1,20E-03	6,60E-03	4,60E-03	4,40E-03	МУ16	В качестве КП для Tc-99m взяты КП Tc-99
44	Ru-103	1,20E-02	1,70E-06	1,30E-03	1,00E-04	4,10E-04	4,00E-04	3,10E-03	МУ16	
45	Ru-105									
46	Ru-106	1,20E-02	1,30E-05	4,30E-02	8,60E-04	4,30E-03	3,50E-03	4,20E-03	МУ16	
47	Rh-105	7,40E-08	2,60E-04		2,10E-07	8,40E-07		7,30E-04	НТД84	
48	Ag-110m	4,40E-02	1,20E-01	3,40E-02	7,40E-04	3,40E-03	3,00E-03	4,20E-03	МУ16	
49	Sb-127									

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
50	Sb-129									
51	Te-127m	2,00E-02	2,10E-03	8,50E-03	4,00E-04	2,00E-03		4,20E-03	НТД84	
52	Te-127									
53	Te-129m	7,10E-03	9,50E-04	7,00E-04	9,40E-05	4,30E-04		4,00E-03	НТД84	
54	Te-129									
55	Te-131m	3,80E-08	8,40E-06	0,00E+00	1,40E-07	5,50E-07		5,70E-04	НТД84	
56	Te-131									
57	Te-132	2,50E-05	5,00E-05	7,00E-13	1,30E-06	5,20E-06	4,00E-07	1,80E-03	НТД84	Для катег. ФРУКТЫ КП – справ. Г91*
58	I-129	4,60E-02	8,00E-02	4,10E-02	1,20E-03	6,60E-03		4,40E-03	НТД84	
59	I-130									
60	I-131	1,50E-04	1,10E-03	1,50E-07	3,70E-05	1,30E-05	6,20E-06	1,10E-03	МУ16	
61	I-132									
62	I-133	1,40E-10	2,00E-05		3,20E-09	1,10E-08	4,40E-09	1,30E-05	МУ16	
63	I-134									
64	I-135									
65	Xe-131m									
66	Xe-133m									
67	Xe-133									
68	Xe-135m									
69	Xe-135									
70	Xe-137									
71	Xe-138									
72	Cs134	1,80E-02	4,70E-02	5,70E-02	1,00E-03	5,20E-03	4,10E-03	4,30E-03	МУ16	
73	Cs136									
74	Cs-137	2,10E-02	5,90E-02	7,30E-02	1,30E-03	6,40E-03	4,70E-03	4,40E-03	МУ16	
75	Cs-138									

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
76	Va-140	3,00E-06	1,10E-06	6,80E-06	1,10E-05	4,10E-05	2,50E-04	1,70E-03	МУ16	
77	La-140	6,50E-10	3,90E-09		2,80E-07	1,10E-06		8,80E-04	НТД84	
78	Ce-141	4,60E-05	4,70E-07	7,10E-04	7,40E-05	2,90E-04	2,60E-04	2,90E-03	МУ16	
79	Ce-143	6,80E-10	4,80E-09		1,80E-07	7,00E-07		6,60E-04	НТД84	
80	Ce-144	1,10E-03	9,40E-06	3,70E-02	7,90E-04	3,70E-03	3,20E-03	4,20E-03	МУ16	
81	Pt-143	6,20E-05	1,00E-07	1,60E-05	2,20E-05	9,50E-05	2,90E-05	3,50E-03	НТД84	Для катег. ФРУКТЫ КП – справ. Г91*
82	Pt-144	2,50E-05	4,70E-08	1,00E-04	1,30E-05	4,70E-05	2,90E-05	4,00E-03	МУ16	
83	Pm-147	3,30E-05	8,20E-08	3,60E-06	1,50E-05	6,20E-05		3,30E-03	Источник-?	Есть данные (КП) в справ. Г86**
84	Sm-153	3,50E-08	4,00E-09		4,00E-06	1,60E-06		1,00E-03	НТД84	
85	U-235	4,50E-04	1,70E-03	4,10E-02	1,20E-03	6,60E-03	5,00E-03	4,40E-03	МУ16	КП для всех изотопов U равны
86	U-236	4,50E-04	1,70E-03	4,10E-02	1,20E-03	6,60E-03	5,00E-03	4,40E-03	МУ16	
87	U-238	4,50E-04	1,70E-03	4,10E-02	1,20E-03	6,60E-03	5,00E-03	4,40E-03	МУ16	
88	Np-239	2,70E-06	2,70E-08	4,10E-02	1,20E-03	6,60E-03	4,70E-03	4,40E-03	Источник-?	Есть данные (КП) в НТД84
89	Pu-238	2,10E-06	2,40E-07	7,50E-02	1,30E-03	6,60E-03	4,70E-03	4,40E-03	МУ16	КП для всех изотопов Pu равны
90	Pu-239	2,10E-06	2,40E-07	7,50E-02	1,30E-03	6,60E-03	4,70E-03	4,40E-03	МУ16	
91	Pu-240	2,10E-06	2,40E-07	7,50E-02	1,30E-03	6,60E-03	4,70E-03	4,40E-03	МУ16	
92	Pu-241	2,10E-06	2,40E-07	7,50E-02	1,30E-03	6,60E-03	4,70E-03	4,40E-03	МУ16	
93	Pu-242	2,10E-06	2,40E-07	7,50E-02	1,30E-03	6,60E-03	4,70E-03	4,40E-03	МУ16	
94	Am-241	2,10E-06	2,40E-07	7,50E-02	1,30E-03	6,60E-03	4,70E-03	4,40E-03	МУ16	КП для Am равны КП для Pu
95	Am-242m	2,10E-06	2,40E-07	7,50E-02	1,30E-03	6,60E-03	4,70E-03	4,40E-03	МУ16	
96	Am-243	2,10E-06	2,40E-07	7,50E-02	1,30E-03	6,60E-03	4,70E-03	4,40E-03	МУ16	
97	Cm-242	2,10E-06	2,40E-07	7,50E-02	1,30E-03	6,60E-03	4,70E-03	4,40E-03	МУ16	КП для Cm равны КП для Pu
98	Cm-243	2,10E-06	2,40E-07	7,50E-02	1,30E-03	6,60E-03	4,70E-03	4,40E-03	МУ16	
99	Cm-244	2,10E-06	2,40E-07	7,50E-02	1,30E-03	6,60E-03	4,70E-03	4,40E-03	МУ16	

* В НТД84 коэффициенты КП для категории ФРУКТЫ не заданы (равны нулю). В библиотеке для радионуклидов Te-132 и Pt-143 коэффициенты КП для категории ФРУКТЫ отличны от нуля. Для их определения использовались данные из справочника Г91 г.

** Для радионуклида Pm-147 нет данных о коэффициентах КП в МУ16 и в НТД84. Такие данные есть в справочнике Г86 г. В качестве КП для Pm-147 взяты КП Nd-147 из НТД84.

Таблица А3 – Коэффициенты перехода (КП) по пищевым цепочкам – корневой путь длительного выброс – в библиотеке программы ВЫБРОС-3.1 (С16), (м²/кг)

№ п/п	Нуклид	Мясо	Молоко	Хлеб	Картофель	Капуста	Фрукты	Огурцы	Источник	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	H-3	1,60E-01	1,40E-01	3,80E-01	1,30E-01	1,20E-01	1,00E-01	2,80E-02	МУ16	
2	C-14	3,50E-01	4,70E-01	1,80E+00	5,90E-01	5,20E-01	4,70E-01	1,20E-01	МУ16	
3	N-13									
4	Na-22	5,80E-04	8,60E-04	8,10E-04	3,10E-04	2,80E-04	2,60E-04	7,70E-05	МУ16	
5	Na-24								Источник-?	Есть данные (КП) в МУ16
6	Si-31									
7	P-32	4,60E-07	5,10E-07	4,40E-10	2,00E-09	1,50E-09	2,30E-09	7,10E-07	МУ16	
8	S-35									
9	Cl-36									
10	Ar-41									
11	K-42									
12	Ca-45									
13	Ca-47								Источник-?	Есть данные (КП) в справ. Г86
14	Cr-51	2,50E-11	3,00E-11				3,00E-08		МУ16	
15	Mn-54	2,10E-06	6,30E-07	8,00E-05	3,70E-05	3,30E-05	3,40E-06	1,40E-05	МУ16	
16	Mn-56								НТД84	Все КП равны нулю
17	Fe-55	3,20E-06	1,40E-07	1,10E-05	4,00E-06	3,60E-06	3,40E-06	9,90E-07	МУ16	
18	Fe-59	3,20E-06	1,40E-07						МУ16	
19	Co-58	8,80E-07	6,70E-08	3,70E-07	2,90E-07	2,50E-07	3,40E-07	5,50E-07	МУ16	
20	Co-60	9,70E-05	6,70E-06	3,30E-04	1,20E-04	1,10E-04	9,60E-05	2,70E-05	МУ16	
21	Ni-63	8,90E-05	4,90E-05	4,20E-03	1,20E-03	1,20E-03		2,30E-04	НТД84	
22	Ni-65									
23	Cu-64									

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
24	Kr-85m									
25	Kr-85									
26	Kr-87									
27	Kr-88									
28	Kr-89									
29	Rb-88									
30	Rb-89									
31	Sr-89	8,10E-10	3,70E-09	5,10E-07	4,90E-07	4,30E-07	5,80E-07	1,90E-06	МУ16	
32	Sr-90	4,00E-06	5,90E-05	8,50E-03	2,90E-03	2,60E-03	2,30E-03	6,00E-04	МУ16	
33	Sr-91									
34	Sr-92									
35	Y-90								Источник-?	КП равны нулю в МУ16 и НТД84
36	Y-91m									
37	Y-91	4,30E-11		1,90E-08	6,00E-09	5,50E-09		2,00E-08	НТД84	
38	Zr-95	4,20E-09		4,30E-09	3,60E-09	3,20E-09	4,30E-09	8,20E-09	МУ16	
39	Zr-97								НТД84	Все КП равны нулю
40	Nb-95	2,00E-07	2,10E-09	1,10E-08	1,30E-08	1,10E-08	1,50E-08	1,30E-07	МУ16	
41	Nb-97									
42	Mo-99		7,05E-15					3,57E-12	Г86	Для катег. ОГУРЦЫ КП равен нулю
43	Tc-99m	2,70E-02	1,00E-02	7,50E-02	2,10E-02	2,10E-02	2,40E-02	4,20E-03	МУ16	В качестве КП для Tc-99m взяты КП Tc-99
44	Ru-103	1,50E-06	2,20E-10	1,10E-07	1,30E-07	1,10E-07	1,50E-07	8,80E-07	МУ16	
45	Ru-105									
46	Ru-106	2,10E-04	2,40E-08	1,90E-04	8,10E-05	7,10E-05	7,30E-05	2,80E-05	МУ16	
47	Rh-105								НТД84	Все КП равны нулю
48	Ag-110m	1,50E-04	3,90E-04	2,50E-04	1,20E-04	1,10E-04	1,20E-04	5,20E-05	МУ16	
49	Sb-127									

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
50	Sb-129									
51	Te-127m	3,50E-05	3,80E-06	1,50E-04	4,40E-05	4,20E-05		4,80E-05	НТД84	
52	Te-127									
53	Te-129m	1,00E-06	1,30E-07	3,60E-07	1,30E-07	1,10E-07		2,00E-06	НТД84	
54	Te-129									
55	Te-131m								НТД84	Все КП равны нулю
56	Te-131									
57	Te-132	7,30E-13	1,40E-12						НТД84	
58	I-129	1,80E-03	3,00E-03	2,40E-02	6,60E-03	6,60E-03		1,30E-03	НТД84	
59	I-130									
60	I-131	2,50E-09	1,80E-08					1,90E-09	МУ16	
61	I-132									
62	I-133								МУ16	Все КП равны нулю
63	I-134									
64	I-135									
65	Xe-131m									
66	Xe-133m									
67	Xe-133									
68	Xe-135m									
69	Xe-135									
70	Xe-137									
71	Xe-138									
72	Cs134	4,00E-05	1,10E-04	3,40E-04	1,30E-04	1,20E-04	1,10E-04	3,50E-05	МУ16	
73	Cs136									
74	Cs-137	4,00E-04	1,10E-03	4,30E-03	1,50E-03	1,30E-03	1,20E-03	3,10E-04	МУ16	
75	Cs-138									

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
76	Ba-140							1,90E-09	МУ16	
77	La-140								НТД84	Все КП равны нулю
78	Ce-141	2,30E-10	0,00E+00	1,70E-09	2,30E-09	1,90E-09	2,80E-09	2,80E-08	МУ16	
79	Ce-143								НТД84	Все КП равны нулю
80	Ce-144	7,40E-08	6,30E-10	5,60E-06	2,70E-06	2,40E-06	2,50E-06	9,90E-07	МУ16	
81	Pr-143	1,60E-12		2,00E-13	1,20E-13		3,00E-12	9,80E-11	НТД84	Для катег. ФРУКТЫ КП равен нулю
82	Pr-144							1,30E-09	МУ16	
83	Pm-147	4,00E-13						2,60E-11	Источник-?	Есть данные (КП) в справ. Г86*
84	Sm-153								НТД84	Все КП равны нулю
85	U-235	5,30E-07	2,00E-06	7,50E-04	2,10E-04	2,10E-04	2,30E-04	4,20E-05	МУ16	КП для всех изотопов U равны
86	U-236	5,30E-07	2,00E-06	7,50E-04	2,10E-04	2,10E-04	2,30E-04	4,20E-05	МУ16	
87	U-238	5,30E-07	2,00E-06	7,50E-04	2,10E-04	2,10E-04	2,30E-04	4,20E-05	МУ16	
88	Np-239	7,20E-10	8,20E-11	8,00E-05	2,80E-05	2,40E-05	2,10E-05	5,50E-06	Источник-?	КП равны нулю в НТД84
89	Pu-238	7,20E-10	8,20E-11	8,00E-05	2,80E-05	2,40E-05	2,10E-05	5,50E-06	МУ16	КП для всех изотопов Pu равны
90	Pu-239	7,20E-10	8,20E-11	8,00E-05	2,80E-05	2,40E-05	2,10E-05	5,50E-06	МУ16	
91	Pu-240	7,20E-10	8,20E-11	8,00E-05	2,80E-05	2,40E-05	2,10E-05	5,50E-06	МУ16	
92	Pu-241	7,20E-10	8,20E-11	8,00E-05	2,80E-05	2,40E-05	2,10E-05	5,50E-06	МУ16	
93	Pu-242	7,20E-10	8,20E-11	8,00E-05	2,80E-05	2,40E-05	2,10E-05	5,50E-06	МУ16	
94	Am-241	7,20E-10	8,20E-11	8,00E-05	2,80E-05	2,40E-05	2,10E-05	5,50E-06	МУ16	КП для Am равны Кп для Pu
95	Am-242m	7,20E-10	8,20E-11	8,00E-05	2,80E-05	2,40E-05	2,10E-05	5,50E-06	МУ16	
96	Am-243	7,20E-10	8,20E-11	8,00E-05	2,80E-05	2,40E-05	2,10E-05	5,50E-06	МУ16	
97	Cm-242	7,20E-10	8,20E-11	8,00E-05	2,80E-05	2,40E-05	2,10E-05	5,50E-06	МУ16	КП для Cm равны КП для Pu
98	Cm-243	7,20E-10	8,20E-11	8,00E-05	2,80E-05	2,40E-05	2,10E-05	5,50E-06	МУ16	
99	Cm-244	7,20E-10	8,20E-11	8,00E-05	2,80E-05	2,40E-05	2,10E-05	5,50E-06	МУ16	

* Для радионуклида Pm-147 нет данных о коэффициентах КП в МУ16 и в НТД84. Такие данные есть в справочнике Г86 г. В качестве КП для Pm-147 взяты КП Nd-147 из НТД84.

Таблица А4 – Коэффициенты перехода (КП) по пищевым цепочкам – воздушный путь, разовый выброс – в библиотеке программы ВыхРОС-3.1 (С16), (м²/кг)

№ п/п	Нуклид	Мясо	Молоко	Хлеб	Картофель	Капуста	Фрукты	Огурцы	Источник	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	H-3									
2	C-14									
3	N-13									
4	Na-22	6,20E-01	8,20E-01	8,20E-01	8,70E-03	3,50E-02	2,80E-02	2,60E-02	НТД84	Для катег. ФРУКТЫ КП - справ. Г86*
5	Na-24									
6	Si-31									
7	P-32									
8	S-35									
9	Cl-36									
10	Ar-41									
11	K-42									
12	Ca-45									
13	Ca-47									
14	Cr-51	3,10E-04	3,20E-04	1,10E-02	9,60E-04	3,80E-03	6,00E-03	2,40E-02	НТД84	*
15	Mn-54	1,20E-02	3,20E-03	5,60E-01	6,80E-03	2,70E-02	2,46E-02	2,60E-02	НТД84	*
16	Mn-56		2,30E-08		1,50E-10	5,90E-10	1,77E-09	2,00E-07	НТД84	*
17	Fe-55	2,60E-01	6,40E-03	8,30E-01	8,80E-03	3,50E-02	2,80E-02	2,60E-02	НТД84	*
18	Fe-59	1,00E-02	3,00E-04	4,30E-02	1,60E-03	6,50E-03	9,71E-03	2,50E-02	НТД84	*
19	Co-58	8,40E-02	5,70E-03	1,10E-01	2,60E-03	1,00E-02	1,37E-02	2,50E-02	НТД84	*
20	Co-60	3,00E-01	1,70E-02	9,10E-01	9,40E-03	3,70E-02	2,86E-02	2,70E-02	НТД84	*
21	Ni-63	5,30E-02	5,30E-02	9,90E-01	1,00E-02	4,00E-02	2,86E-02	2,70E-02	НТД84	*
22	Ni-65									
23	Cu-64									

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
24	Kr-85m									
25	Kr-85									
26	Kr-87									
27	Kr-88									
28	Kr-89									
29	Rb-88									
30	Rb-89									
31	Sr-89	1,80E-05	7,40E-05	5,60E-02	1,80E-03	7,40E-03	1,06E-02	2,50E-02	НТД84	*
32	Sr-90	5,60E-04	1,80E-03	9,80E-01	9,90E-03	4,00E-02	2,86E-02	2,70E-02	НТД84	*
33	Sr-91									
34	Sr-92									
35	Y-90	1,70E-08	1,20E-09	1,40E-13	3,00E-05	1,20E-04	2,71E-04	8,60E-03	НТД84	*
36	Y-91m									
37	Y-91	1,10E-04	2,30E-07	7,70E-02	2,10E-03	8,60E-03	1,20E-02	2,50E-02	НТД84	*
38	Zr-95	2,60E-02	3,70E-06	9,20E-02	2,30E-03	9,40E-03	1,29E-02	2,50E-02	НТД84	*
39	Zr-97	1,60E-11	1,50E-09		1,40E-06	5,70E-06		1,20E-03	НТД84	
40	Nb-95	4,60E-02	4,30E-04	2,20E-02	1,20E-03	5,00E-03	7,71E-03	2,40E-02	НТД84	*
41	Nb-97									
42	Mo-99	6,10E-06	1,50E-04	9,60E-13	3,50E-05	1,40E-04	3,14E-04	9,20E-03	НТД84	*
43	Tc-99m	9,20E-01	3,70E-01	1,00E+00	1,00E-02	4,00E-02	2,86E-02	2,70E-02	НТД84	В качестве КП для Tc-99m взяты КП Tc-99*
44	Ru-103	5,80E-02	7,40E-06	3,10E-02	1,40E-03	5,60E-03	8,57E-03	2,40E-02	НТД84	*
45	Ru-105									
46	Ru-106	5,80E-01	5,90E-05	6,10E-01	7,20E-03	2,90E-02	2,51E-02	2,60E-02	НТД84	*
47	Rh-105	2,40E-07	5,90E-04	8,50E-06	9,40E-06	3,80E-05		9,90E-03	НТД84	
48	Ag-110m	2,20E-01	5,30E-01	4,90E-01	6,20E-03	2,50E-02	2,34E-02	2,60E-02	НТД84	*
49	Sb-127									

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
50	Sb-129									
51	Te-127m	6,20E-02	7,00E-03	2,20E-01	3,80E-03	1,50E-02	1,74E-02	2,60E-02	НТД84	*
52	Te-127									
53	Te-129m	1,60E-02	2,20E-03	2,00E-02	1,20E-03	4,70E-03	7,43E-03	2,40E-02	НТД84	*
54	Te-129									
55	Te-131m	7,60E-08	1,70E-05	1,90E-06	6,40E-06	2,00E-05		3,50E-03	НТД84	
56	Te-131									
57	Te-132	5,00E-05	9,80E-05	4,10E-11	4,80E-05	1,90E-04	4,00E-04	1,10E-02	НТД84	*
58	I-129	1,80E-01	3,70E-01	1,00E+00	1,00E-02	4,00E-02		2,70E-02	НТД84	
59	I-130									
60	I-131	7,10E-04	4,60E-03	1,10E-05	2,00E-04	8,10E-04	1,46E-03	1,80E-02	НТД84	*
61	I-132									
62	I-133	6,50E-10	8,20E-05		2,50E-06	7,40E-06		1,80E-03	НТД84	
63	I-134									
64	I-135									
65	Xe-131m									
66	Xe-133m									
67	Xe-133									
68	Xe-135m									
69	Xe-135									
70	Xe-137									
71	Xe-138									
72	Cs134	9,20E-02	2,20E-01	7,80E-01	8,40E-03	3,40E-02	2,74E-02	2,60E-02	НТД84	*
73	Cs136									
74	Cs-137	1,10E-01	2,60E-01	9,80E-01	9,90E-03	4,00E-02	2,86E-02	2,70E-02	НТД84	*
75	Cs-138									

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
76	Va-140	1,40E-05	4,50E-06	3,40E-04	3,80E-04	1,50E-03	2,57E-03	2,10E-02	НТД84	*
77	La-140	1,30E-09	7,80E-09		1,20E-05	5,00E-05	1,26E-04	5,30E-03	НТД84	*
78	Ce-141	2,30E-04	2,00E-06	1,80E-02	1,10E-03	4,60E-03	7,14E-03	2,40E-02	НТД84	*
79	Ce-143				1,10E-05	3,20E-05			НТД84	
80	Ce-144	5,60E-03	3,90E-05	5,30E-01	6,50E-03	2,60E-02	2,40E-02	2,60E-02	НТД84	*
81	Pr-143	1,20E-04	2,10E-07	5,40E-04	4,20E-04	1,70E-03	2,83E-03	2,10E-02	НТД84	*
82	Pr-144									
83	Pm-147	3,68E-02	3,13E-05	8,50E-01	8,70E-03	3,50E-02	2,80E-02	2,70E-02	Г86	В справ. Г86 нет данных о кат. ОГУРЦЫ**
84	Sm-153	6,90E-08	7,90E-09		1,70E-05	6,80E-05		6,40E-03	НТД84	
85	U-235	1,80E-03	9,00E-03	1,00E+00	1,00E-02	4,00E-02	2,86E-02	2,70E-02	НТД84	КП для всех изотопов U равны*
86	U-236	1,80E-03	9,00E-03	1,00E+00	1,00E-02	4,00E-02	2,86E-02	2,70E-02	НТД84	*
87	U-238	1,80E-03	9,00E-03	1,00E+00	1,00E-02	4,00E-02	2,86E-02	2,70E-02	НТД84	*
88	Np-239	6,60E-11	1,90E-10		2,60E-05	1,00E-04	2,86E-02	7,90E-03	НТД84	*
89	Pu-238	1,10E-05	2,10E-07	1,00E+00	1,00E-02	4,00E-02	2,86E-02	2,70E-02	НТД84	КП для всех изотопов Pu равны*
90	Pu-239	1,10E-05	2,10E-07	1,00E+00	1,00E-02	4,00E-02	2,86E-02	2,70E-02	НТД84	*
91	Pu-240	1,10E-05	2,10E-07	1,00E+00	1,00E-02	4,00E-02	2,86E-02	2,70E-02	НТД84	*
92	Pu-241	1,10E-05	2,10E-07	1,00E+00	1,00E-02	4,00E-02	2,86E-02	2,70E-02	НТД84	*
93	Pu-242	1,10E-05	2,10E-07	1,00E+00	1,00E-02	4,00E-02	2,86E-02	2,70E-02	НТД84	*
94	Am-241	1,10E-05	2,10E-07	1,00E+00	1,00E-02	4,00E-02	2,86E-02	2,70E-02	НТД84	КП для Am равны КП для Pu*
95	Am-242m	1,10E-05	2,10E-07	1,00E+00	1,00E-02	4,00E-02	2,86E-02	2,70E-02	НТД84	*
96	Am-243	1,10E-05	2,10E-07	1,00E+00	1,00E-02	4,00E-02	2,86E-02	2,70E-02	НТД84	*
97	Cm-242	1,10E-05	2,10E-07	1,00E+00	1,00E-02	4,00E-02	2,86E-02	2,70E-02	НТД84	КП для Cm равны КП для Pu*
98	Cm-243	1,10E-05	2,10E-07	1,00E+00	1,00E-02	4,00E-02	2,86E-02	2,70E-02	НТД84	*
99	Cm-244	1,10E-05	2,10E-07	1,00E+00	1,00E-02	4,00E-02	2,86E-02	2,70E-02	НТД84	*

* В Норм.-тех. док. СЭВ, 1984 коэфф. КП для категории ФРУКТЫ не заданы (равны нулю). В библиотеке для всех радионуклидов, кроме Zr-97, Rh-105, Te-131m, I-129, I-133, Ce-143 и Sm-153, коэфф. КП для категории ФРУКТЫ отличны от нуля. Для их определения использовались данные из справочника Г86.

** Для Pm-147 коэфф. КП для всех продуктов, за исключением категории ОГУРЦЫ, определяются из справочника Г8. Источник коэфф. КП для категории ОГУРЦЫ не ясен.

Таблица А5 – Коэффициенты перехода (КП) по пищевым цепочкам – корневой путь, разовый выброс в библиотеке программы ВЫБРОС-3.1 (С16), (м²/кг)

№ п/п	Нуклид	Мясо	Молоко	Хлеб	Картофель	Капуста	Фрукты	Огурцы	Источник	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	H-3									
2	C-14									
3	N-13									
4	Na-22	2,10E-04	2,80E-04	8,20E-04	1,50E-04	1,50E-04	2,29E-04	4,00E-05	НТД84	Для катег. ФРУКТЫ КП – справ. Г86*
5	Na-24									
6	Si-31									
7	P-32									
8	S-35									
9	Cl-36									
10	Ar-41									
11	K-42									
12	Ca-45									
13	Ca-47									
14	Cr-51			1,70E-09	2,60E-09	2,60E-09	7,71E-09	5,40E-09	НТД84	*
15	Mn-54	5,30E-07	1,40E-07	3,40E-04	7,20E-05	7,20E-05	1,23E-04	2,40E-05	НТД84	*
16	Mn-56								НТД84	Все КП равны нулю
17	Fe-55	1,20E-06	2,90E-08	8,40E-04	1,50E-04	1,50E-04	2,31E-04	4,00E-05	НТД84	*
18	Fe-59	1,70E-11	5,10E-13	2,20E-07	1,50E-07	1,50E-07	4,00E-07	1,90E-07	НТД84	*
19	Co-58	2,20E-08	1,40E-09	4,40E-06	1,80E-06	1,80E-06	4,29E-06	1,50E-06	НТД84	*
20	Co-60	3,90E-05	2,30E-06	9,70E-04	1,70E-04	1,70E-04	2,54E-04	4,20E-05	НТД84	*
21	Ni-63	8,80E-05	8,80E-05	3,60E-04	6,20E-05	6,20E-05	8,86E-05	1,40E-05	НТД84	*
22	Ni-65									
23	Cu-64									

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
24	Kr-85m									
25	Kr-85									
26	Kr-87									
27	Kr-88									
28	Kr-89									
29	Rb-88									
30	Rb-89									
31	Sr-89	5,70E-12	2,30E-11	5,30E-07	3,00E-07	3,00E-07	8,29E-07	3,50E-07	НТ/Д84	*
32	Sr-90	1,80E-06	5,80E-06	7,40E-04	1,30E-04	1,30E-04	1,83E-04	3,00E-05	НТ/Д84	*
33	Sr-91									
34	Sr-92									
35	Y-90								НТ/Д84	Все КП равны нулю
36	Y-91m									
37	Y-91	3,20E-12		1,40E-06	6,90E-07	6,90E-07	1,83E-06	7,00E-07	НТ/Д84	*
38	Zr-95	7,60E-11		2,50E-06	1,10E-06	1,10E-06	2,83E-06	1,00E-06	НТ/Д84	*
39	Zr-97								НТ/Д84	Все КП равны нулю
40	Nb-95	1,80E-10	1,70E-12	2,30E-08	2,20E-08	2,20E-08	6,29E-08	3,70E-08	НТ/Д84	*
41	Nb-97									
42	Mo-99								НТ/Д84	Все КП равны нулю
43	Tc-99m	2,70E-02	1,10E-02	2,30E-07	3,90E-08	3,90E-08	5,71E-08	9,00E-09	НТ/Д84	В качестве КП для Tc-99m взяты КП Tc-99*
44	Ru-103	3,00E-09	3,80E-13	7,00E-08	5,60E-08	5,60E-08	1,60E-07	8,30E-08	НТ/Д84	*
45	Ru-105									
46	Ru-106	5,30E-05	5,40E-09	4,20E-04	8,50E-05	8,50E-05	1,43E-04	2,70E-05	НТ/Д84	*
47	Rh-105		1,80E-12						НТ/Д84	
48	Ag-110m	3,20E-05	7,50E-05	2,50E-04	5,40E-05	5,40E-05	9,71E-05	2,00E-05	НТ/Д84	*
49	Sb-127									

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
50	Sb-129									
51	Te-127m	1,00E-05	1,20E-06	3,00E-05	8,90E-06	8,90E-06	1,97E-05	5,30E-06	НТД84	*
52	Te-127									
53	Te-129m	6,20E-09	8,50E-10	1,50E-08	1,50E-08	1,50E-08	4,57E-08	2,70E-08	НТД84	*
54	Te-129									
55	Te-131m								НТД84	Все КП равны нулю
56	Te-131									
57	Te-132								НТД84	Все КП равны нулю
58	I-129	1,80E-03	3,50E-03	3,10E-09	5,40E-10	5,40E-10		1,20E-10	НТД84	
59	I-130									
60	I-131								НТД84	Все КП равны нулю
61	I-132									
62	I-133								РБ16	Все КП равны нулю
63	I-134									
64	I-135									
65	Xe-131m									
66	Xe-133m									
67	Xe-133									
68	Xe-135m									
69	Xe-135									
70	Xe-137									
71	Xe-138									
72	Cs134	1,40E-05	3,20E-05	7,40E-04	1,40E-04	1,40E-04	2,14E-04	3,70E-05	НТД84	*
73	Cs136									
74	Cs-137	1,80E-04	4,10E-04	7,20E-04	1,20E-04	1,20E-04	1,80E-04	2,90E-05	НТД84	*
75	Cs-138									

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
76	Ba-140								РБ16	Все КП равны нулю
77	La-140								НТД84	Все КП равны нулю
78	Ce-141	1,30E-13		1,10E-08	1,20E-08	1,20E-08	3,43E-08	2,10E-08	НТД84	*
79	Ce-143								НТД84	Все КП равны нулю
80	Ce-144	1,70E-08	1,10E-10	3,00E-04	6,40E-05	6,40E-05	1,11E-04	2,20E-05	НТД84	*
81	Pr-143				1,20E-13	1,20E-13	4,00E-13	5,30E-13	НТД84	*
82	Pr-144									
83	Pm-147								Источник-?	Есть данные (КП) в справ. Г86**
84	Sm-153								НТД84	Все КП равны нулю
85	U-235	5,30E-07	2,70E-06	7,10E-11	1,20E-11	1,20E-11	1,74E-11	2,80E-12	НТД84	КП для всех изотопов U равны*
86	U-236								Источник-?	Есть данные (КП) в НТД84*
87	U-238	5,30E-07	2,70E-06	7,10E-11	1,20E-11	1,20E-11	1,74E-11	2,80E-12	НТД84	*
88	Np-239								НТД84	Все КП равны нулю
89	Pu-238	3,20E-10	6,40E-12	2,00E-06	3,50E-07	3,50E-07	4,00E-07	8,00E-08	НТД84	КП для всех изотопов Pu равны*
90	Pu-239	3,20E-10	6,40E-12	2,00E-06	3,50E-07	3,50E-07	4,00E-07	8,00E-08	НТД84	*
91	Pu-240	3,20E-10	6,40E-12	2,00E-06	3,50E-07	3,50E-07	4,00E-07	8,00E-08	НТД84	*
92	Pu-241	3,20E-10	6,40E-12	2,00E-06	3,50E-07	3,50E-07	4,00E-07	8,00E-08	НТД84	*
93	Pu-242	3,20E-10	6,40E-12	2,00E-06	3,50E-07	3,50E-07	4,00E-07	8,00E-08	НТД84	*
94	Am-241	3,20E-10	6,40E-12	2,00E-06	3,50E-07	3,50E-07	4,00E-07	8,00E-08	НТД84	КП для Am равны КП для Pu*
95	Am-242m	3,20E-10	6,40E-12	2,00E-06	3,50E-07	3,50E-07	4,00E-07	8,00E-08	НТД84	*
96	Am-243	3,20E-10	6,40E-12	2,00E-06	3,50E-07	3,50E-07	4,00E-07	8,00E-08	НТД84	*
97	Cm-242	3,20E-10	6,40E-12	2,00E-06	3,50E-07	3,50E-07	4,00E-07	8,00E-08	НТД84	КП для Cm равны КП для Pu*
98	Cm-243	3,20E-10	6,40E-12	2,00E-06	3,50E-07	3,50E-07	4,00E-07	8,00E-08	НТД84	*
99	Cm-244	3,20E-10	6,40E-12	2,00E-06	3,50E-07	3,50E-07	4,00E-07	8,00E-08	НТД84	*

* В НТД84 КП для категории ФРУКТЫ не заданы (равны нулю). В библиотеке для всех радионуклидов кроме Rn-105 и I-129, КП для категории ФРУКТЫ отличны от нуля. Для их определения использовались данные из справочника Г86.

** Для КП нуклида Pm-147 для всех продуктов, за исключением категории, ОГУРЦЫ, есть данные в справочнике Г86.

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б: Отношение коэффициентов перехода.
Воздушный путь загрязнения, длительный выброс**

Таблица Б1 – Отношение коэффициентов перехода (КП) – воздушный путь, длительный выброс – в библиотеках (Г86/НТД84), (кг)

№ п/п	Нуклид	Мясо	Молоко	Хлеб	Картофель	Капуста	Фрукты	Огурцы
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	H-3							
2	C-14							
3	N-13							
4	Na-22	56,3	265,0	161,8	120,0	21,4		
5	Na-24							
6	Si-31							
7	P-32							
8	S-35							
9	Cl-36							
10	Ar-41							
11	K-42							
12	Ca-45							
13	Ca-47							
14	Cr-51	56,0	271,4	163,2	114,1	21,9		
15	Mn-54	58,8	261,9	168,2	115,2	22,0		
16	Mn-56		266,7		113,8	22,7		
17	Fe-55	55,9	266,0	164,7	109,1	21,4		
18	Fe-59	57,1	272,7	162,5	114,3	22,1		
19	Co-58	60,0	270,0	166,7	116,0	22,5		
20	Co-60	57,3	255,8	164,9	118,2	21,3		
21	Ni-63	58,5	260,3	163,4	116,7	21,5		
22	Ni-65							
23	Cu-64							
24	Kr-85m							
25	Kr-85							
26	Kr-87							
27	Kr-88							
28	Kr-89							
29	Rb-88							
30	Rb-89							
31	Sr-89	58,1	273,1	161,9	111,8	22,5		
32	Sr-90	56,4	262,5	165,0	116,7	21,5		

1	2	3	4	5	6	7	8	9
33	Sr-91							
34	Sr-92							
35	Y-90	57,0	269,8		114,9	22,0		
36	Y-91m							
37	Y-91	56,8	263,2	165,5	115,0	21,6		
38	Zr-95	57,3	266,7	162,9	118,2	21,8		
39	Zr-97							
40	Nb-95	60,0	266,7	164,6	120,0	21,7		
41	Nb-97							
42	Mo-99	58,1	270,3		113,6	21,7		
43	Tc-99	56,5	258,8	165,9	116,7	21,2		
44	Ru-103	56,0	273,3	163,6	116,7	21,4		
45	Ru-105							
46	Ru-106	55,6	276,9	164,0	115,5	22,0		
47	Rh-105							
48	Ag-110m	58,1	269,2	160,0	115,5	21,9		
49	Sb-127							
50	Sb-129							
51	Te-127m	55,0	271,4	164,7	115,0	22,0		
52	Te-127							
53	Te-129m	57,7	273,7	171,4	117,0	22,1		
54	Te-129							
55	Te-131m							
56	Te-131							
57	Te-132	60,0	280,0	171,4	115,4	21,2		
58	I-129							
59	I-130							
60	I-131	58,3	273,9	164,3	114,8	21,8		
61	I-132							
62	I-133	57,6	268,3		115,4	21,9		
63	I-134							
64	I-135							
65	Xe-131m							
66	Xe-133m							
67	Xe-133							
68	Xe-135m							
69	Xe-135							
70	Xe-137							
71	Xe-138							

1	2	3	4	5	6	7	8	9
72	Cs134	58,3	269,2	162,5	120,0	22,2		
73	Cs136							
74	Cs-137	59,3	271,2	167,5	116,7	21,5		
75	Cs-138							
76	Ba-140	57,7	272,7	161,6	115,8	22,0		
77	La-140	58,5	282,1		117,9	22,7		
78	Ce-141	60,0	270,6	156,3	111,1	22,2		
79	Ce-143							
80	Ce-144	58,7	257,1	166,7	114,5	21,8		
81	Pr-143	58,1	280,0	168,8	118,2	22,1		
82	Pr-144							
83	Pm-147							
84	Sm-153							
85	U-235	57,8	264,7	165,9	116,7	21,2		
86	U-236							
87	U-238	57,8	264,7	165,9	116,7	21,2		
88	Np-239							
89	Pu-238	55,6	259,3	163,4	116,7	21,2		
90	Pu-239	55,6	263,0	165,9	116,7	21,2		
91	Pu-240	55,6	263,0	165,9	116,7	21,2		
92	Pu-241							
93	Pu-242							
94	Am-241							
95	Am-242m							
96	Am-243							
97	Cm-242							
98	Cm-243							
99	Cm-244							

Таблица Б1.1 – Потребление продуктов питания за год (Г86), кг/год

Продукты	Мясо	Молоко	Хлеб	Картофель	Капуста	Фрукты	Огурцы
кг/год	57	255,5 (0,7 л/сут)	160	115	22	35	

Таблица Б2 – Отношение коэффициентов перехода (КП) – воздушный путь, длительный выброс – в библиотеках (Г91/МУ16), (кг)

№ п/п	Нуклид	Мясо	Молоко	Хлеб	Картофель	Капуста	Фрукты	Огурцы
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	H-3	57,0	256,1	161,1	115,4	73,0	66,0	18,2
2	C-14	56,3	254,0	162,7	115,4	72,7	66,0	18,2
3	N-13							
4	Na-22	57,5	261,1	161,7	118,2	72,7	65,1	18,0
5	Na-24		253,5					18,4
6	Si-31							
7	P-32	57,3	255,6	192,5	113,3	72,2	12,2	17,9
8	S-35							
9	Cl-36							
10	Ar-41							
11	K-42							
12	Ca-45							
13	Ca-47							
14	Cr-51	57,1	253,3	160,0	116,1	72,7	66,7	17,9
15	Mn-54	56,0	253,5	161,5	117,1	73,7	64,7	18,1
16	Mn-56							
17	Fe-55	56,6	254,5	160,7	118,2	72,7	65,1	18,4
18	Fe-59	57,9	254,0	162,6	116,7	72,5	66,0	17,9
19	Co-58	54,7	246,2	161,7	116,7	76,0	61,8	18,3
20	Co-60	56,9	256,4	162,7	116,7	73,3	65,2	18,4
21	Ni-63							
22	Ni-65							
23	Cu-64							
24	Kr-85m							
25	Kr-85							
26	Kr-87							
27	Kr-88							
28	Kr-89							
29	Rb-88							
30	Rb-89							
31	Sr-89	57,1	247,1	163,0	113,3	73,0	66,1	18,5
32	Sr-90	57,3	250,0	160,8	115,4	72,3	66,0	18,2
33	Sr-91							
34	Sr-92							
35	Y-90							

1	2	3	4	5	6	7	8	9
36	Y-91m							
37	Y-91							
38	Zr-95	57,1	256,1	162,5	114,3	73,0	65,6	18,1
39	Zr-97							
40	Nb-95	57,1	255,1	162,6	116,7	72,7	66,7	18,3
41	Nb-97							
42	Mo-99	55,4	257,1		118,8	73,2	65,2	18,5
43	Tc-99m							
44	Ru-103	55,0	247,1	160,8	120,0	73,2	65,000	18,387
45	Ru-105							
46	Ru-106	541,7	253,8	162,8	116,3	72,1	65,71	18,333
47	Rh-105							
48	Ag-110m	56,8	250,0	158,8	116,2	73,5	66,7	18,1
49	Sb-127							
50	Sb-129							
51	Te-127m							
52	Te-127							
53	Te-129m							
54	Te-129							
55	Te-131m							
56	Te-131							
57	Te-132							
58	I-129							
59	I-130							
60	I-131	56,0	254,5	156,0	116,2	72,3	66,1	17,3
61	I-132							
62	I-133	57,9	250,0		115,6	70,0	65,9	17,7
63	I-134							
64	I-135							
65	Xe-131m							
66	Xe-133m							
67	Xe-133							
68	Xe-135m							
69	Xe-135							
70	Xe-137							
71	Xe-138							
72	Cs134	55,6	255,3	161,4	120,0	73,1	65,9	18,1
73	Cs136							

1	2	3	4	5	6	7	8	9
74	Cs-137	57,1	254,2	163,0	115,4	73,4	66,0	18,2
75	Cs-138							
76	Ba-140	56,7	245,5	157,4	118,2	73,2	6,4	17,6
77	La-140							
78	Ce-141	56,5	255,3	162,0	116,2	72,4	65,4	18,3
79	Ce-143							
80	Ce-144	56,4	255,3	162,2	116,5	73,0	65,6	18,1
81	Pr-143							
82	Pr-144							
83	Pm-147							
84	Sm-153							
85	U-235							
86	U-236							
87	U-238							
88	Np-239							
89	Pu-238	57,1	254,2	162,7	115,4	72,7	66,0	18,2
90	Pu-239	57,1	254,2	162,7	115,4	72,7	66,0	18,2
91	Pu-240	57,1	254,2	162,7	115,4	72,7	66,0	18,2
92	Pu-241	57,1	254,2	162,7	115,4	72,7	66,0	18,2
93	Pu-242	57,1	254,2	162,7	115,4	72,7	66,0	18,2
94	Am-241							
95	Am-242m							
96	Am-243							
97	Cm-242							
98	Cm-243							
99	Cm-244							

Таблица Б2.1 – Потребление продуктов питания за год (Г91), кг/год

Продукты	Мясо	Молоко	Хлеб	Картофель	Капуста	Фрукты	Огурцы
кг/год	57	255,5 (0,7 л/сут)	162,4 (445 г/сут)	116,8 (320 г/сут)	73 (200 г/сут)	65,7 (180 г/сут)	18,25 (50 г/сут)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методика определения зон планирования защитных мероприятий в случае аварии на атомной станции. МТ-1.2.5.05.0110-2012. ОАО «Концерн Росэнергоатом», Москва, 2012 г.
2. Гусев Н.Г., Беляев В.А. Радиоактивные выбросы в биосфере. Справочник. – М., Энергоатомиздат, 1986.
3. Гусев Н.Г., Беляев В.А. Радиоактивные выбросы в биосфере. Справочник. – М., Энергоатомиздат, 1991.
4. Нормативно-техническая документация стран СЭВ. НТД 38.220-56-84 Инте-ратомэнерго. Безопасность в атомной энергетике. Том 1. Часть 1. Общие положения безопасности АЭС. Методы расчета распространения радиоактивных веществ с АЭС и облучения окружающего населения. – М., Энергоатомиздат, 1984.
5. Методические указания. Обоснование границ и условия эксплуатации санитарно-защитных зон и зон наблюдения радиационных объектов. МУ 2.6.5.010 – 2016.
6. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии. Рекомендуемые методы оценки и прогнозирования радиационных последствий на ОЯТЦ. Ростехнадзор. – М., 2016 (рассматривается).
7. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии. Рекомендуемые методы оценки и прогнозирования радиационных последствий на ОЯТЦ (РБ-134-17). Ростехнадзор. – М., 2017 (утвержден).
8. Разработка и установление нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ атомных станций в атмосферный воздух. Методика МТ 1.2.1.15.1176-2016.
9. Аттестационный паспорт программного средства «ВЫБРОС-3.1», регистрационный номер 395 от 14 июля 2016 года.
10. Safety Reports Series No. 19. Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment. International Atomic Energy Agency, Vienna, 2001.
11. Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments. International Atomic Energy Agency, Vienna, 2010.
12. Гусев Н.Г., Дмитриев П.П. Радиоактивные цепочки. Справочник. – М., Энергоатомиздат, 1988.

Подписано к печати 09.10.2018 г.

Формат 60×84 ¹/₁₆. Усл. п. л. 1,3. Уч.-изд. л. 1,6.

Тираж 41 экз. Заказ № 220

Отпечатано в ОНТИ методом прямого репродуцирования с оригинала авторов.

249033, Обнинск Калужской обл., пл. Бондаренко, 1.

ГНЦ РФ – Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского.