

Лабораторная расчетная работа № 8

«Определение распределения доз внешнего и внутреннего облучения в теле человека при облучении в условиях окружающей среды»

1. Общий подход к расчетам доз облучения при выбросах радионуклидов в атмосферу и радиоактивном загрязнении территории

Доза излучения на местности от выброса радионуклидов в атмосферу пропорциональна интегральной концентрации, вычисляемой по формуле

$$C_{\Sigma} = \int_{t_0}^{t_0+T} A_V dt \quad (1)$$

где C – временной интеграл по объемной активности на данном расстоянии от источника выброса, Бк·с/м³; t_0 – момент начала выброса; T – продолжительность выброса (или облучения), с.

Эффективные и эквивалентные дозы внешнего β -, γ -излучения от радиоактивного облака $H_{обл}$ или осевших на поверхность земли радионуклидов $H_{пов}$, внутреннего облучения от ингаляции радионуклидов $H_{инг}$ или потребления пищи и воды $H_{пищ}$, содержащих эти радионуклиды, вычисляют по соотношениям, которые получены умножением интегральной концентрации C_{Σ} на дозовые коэффициенты, коэффициенты осаждения и другие модифицирующие коэффициенты. Внешнее излучение от облака вычисляется по формуле

$$H_{обл} = C_{\Sigma} R_{обл}, \quad (2)$$

где $R_{обл}$ – дозовый коэффициент, Зв·м³/(Бк·с), излучения от полубесконечного облака, равный мощности эквивалентной дозы в ткани (органе) или теле человека, находящегося на открытой местности при объемной активности радионуклида в атмосферном воздухе, равной 1 Бк/м³.

Внешнее облучение от загрязненной поверхности земли вычисляется по формуле

$$\dot{H}_{\pi\hat{a}} = A_S \cdot R_{\pi\hat{a}} \quad (3)$$

где $R_{пов}$ – дозовый коэффициент внешнего облучения от загрязненной поверхности земли на высоте $d=1$ м (без учета глубинного распределения радионуклида в почве и поправки на самопоглощение излучения в почве и в воздухе). В ряде случаев при известном характере распределения радионуклидов по глубине почвы расчет может быть выполнен по формуле

$$\begin{aligned} \dot{H}_{\pi\hat{a}} = & A_V^{15-\infty} \cdot R_{\text{çäâ}}^{\infty} + (A_V^{5-15} - A_V^{\infty}) \cdot R_{\text{çäâ}}^{15} + (A_V^{1-5} - A_V^{5-15} - A_V^{15-\infty}) \cdot R_{\text{çäâ}}^5 + \\ & + (A_V^{0-1} - A_V^{1-5} - A_V^{5-15} - A_V^{15-\infty}) \cdot R_{\text{çäâ}}^1 + A_S \cdot R_{\pi\hat{a}} \end{aligned}$$

(4)

где $A_V^{0-1}, A_V^{1-5}, A_V^{5-15}$ и $A_V^{15-\infty}$ - активность нуклида на единицу **объема** почвы (Бк/м³) в слоях 0 – 1, 1 – 5, 5 – 15 и >15 см, соответственно, $R_{\text{заг}}^i$ - коэффициенты, связывающие мощность эквивалентной дозы в органе с загрязнением почвы в слое заданной толщины 0 – i.

Накопленная за интервал времени t эквивалентная доза от внешнего облучения за счет радиоактивного загрязнения почвы рассчитывается с учетом радиоактивного распада и выноса радионуклидов по формуле

$$H_{\text{н\grave{a}}} = H_{\text{н\grave{a}}} \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_{\text{э\phi}} \cdot t)}{\lambda_{\text{э\phi}}} \quad (5)$$

где $\lambda_{\text{э\phi}} = \lambda + \lambda_{\text{в}}$; $\lambda_{\text{в}}$ - постоянная выведения радионуклида из почвы; Внутреннее облучение за счет ингаляции вычисляется по формуле

$$H_{\text{инг}} = C_{\Sigma} \nu R_{\text{инг}} \quad (6)$$

где ν - скорость дыхания для лиц данной возрастной группы $R_{\text{инг}}$ - дозовый коэффициент при ингаляции, Зв/Бк данной возрастной группы.

Внутреннее облучение за счет потребления продуктов питания (овощи, молоко, мясо), содержащих радиоактивные вещества вследствие выпадения из атмосферы, вычисляется при помощи справочных таблиц или специальных программ. При выполнении данной работы расчет поступления нуклидов с продуктами питания выходит за рамки поставленной задачи и данные по внутреннему поступлению с продуктами питания берутся из индивидуального задания.

2. Расчет доз внешнего облучения от проходящего радиоактивного облака

В качестве источника справочной информации при выполнении данной лабораторной работы используется специализированный программный пакет Radiological Toolbox 1.0, разработанный в Ок-Риджской национальной лаборатории США. Необходимая панель для расчетов доз от проходящего облака приведена на рис. 1. Нажав кнопку «Display» можно получить табличные значения коэффициентов конверсии (рис. 2), которые затем могут быть экспортированы в электронную таблицу EXCEL путем нажатия кнопки «Export». Необходимо обратить внимание, что в перечне нуклидов нужно указывать все нуклиды, входящие в радиоактивную цепочку, поскольку справочные данные приведены только для конкретного нуклида. Таким образом для расчета доз внешнего облучения от облака ^{137}Cs в перечень нуклидов необходимо внести и его дочерний нуклид $^{137\text{m}}\text{Ba}$. Пример расчета эквивалентных доз при прохождении радиоактивного облака приведен в табл. П.1.

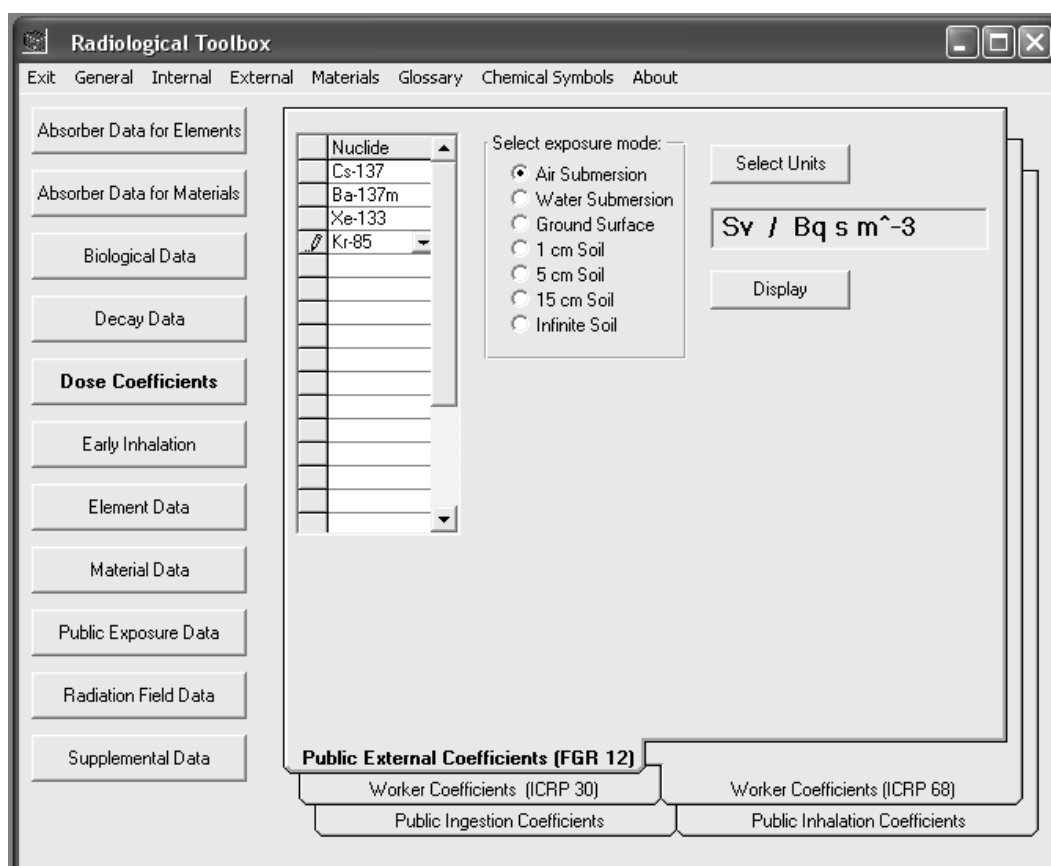


Рис.1. Рабочая панель для расчетов доз внешнего облучения от проходящего облака

Air Submersion dose coefficients (Sv / Bq s m⁻³) from FGR 12

Nuclide	Ba-137m	Cs-137	Kr-85	Xe-133
Adrenals	2.35E-14	4.89E-18	9.43E-17	9.24E-16
Bladder Wall	2.32E-14	5.33E-18	9.48E-17	1.04E-15
Bone Surface	4.63E-14	2.29E-17	2.20E-16	5.13E-15
Brain	3.01E-14	6.46E-18	1.20E-16	1.24E-15
Breast	3.22E-14	9.67E-18	1.34E-16	1.96E-15
Esophagus	2.34E-14	4.39E-18	9.19E-17	8.02E-16
Stomach Wall	2.50E-14	5.65E-18	1.01E-16	1.10E-15
Small Intestine Wall	2.24E-14	4.52E-18	8.89E-17	8.48E-16
Upper Large Intestine Wall	2.33E-14	4.89E-18	9.31E-17	9.27E-16
Lower Large Intestine Wall	2.29E-14	4.58E-18	9.06E-17	8.57E-16
Kidneys	2.51E-14	6.00E-18	1.02E-16	1.19E-15
Liver	2.53E-14	5.76E-18	1.02E-16	1.12E-15
Lungs	2.80E-14	6.68E-18	1.14E-16	1.32E-15
Muscle	2.74E-14	7.04E-18	1.12E-16	1.39E-15
Ovaries	2.20E-14	4.24E-18	8.42E-17	7.74E-16
Pancreas	2.22E-14	4.38E-18	8.81E-17	8.09E-16
Red Marrow	2.73E-14	5.70E-18	1.09E-16	1.07E-15
Skin	3.73E-14	8.63E-15	1.32E-14	4.97E-15
Spleen	2.54E-14	5.72E-18	1.03E-16	1.11E-15
Testes	2.82E-14	7.96E-18	1.17E-16	1.61E-15
Thymus	2.60E-14	6.43E-18	1.06E-16	1.27E-15
Thyroid	2.88E-14	7.55E-18	1.18E-16	1.51E-15
Uterus	2.18E-14	4.37E-18	8.66E-17	8.13E-16
Effective (ICRP 26)	2.88E-14	7.74E-18	1.19E-16	1.56E-15
Effective (ICRP 60)	2.69E-14	9.28E-17	2.40E-16	1.33E-15

Export OK

Рис. 2. Табличные значения коэффициентов конверсии для расчетов доз внешнего облучения от проходящего облака

3. Расчет доз внутреннего облучения от ингаляционного и перорального поступления радионуклидов

Для оценки ингаляционного поступления радионуклидов при прохождении радиоактивного облака необходимо использовать данные по скорости дыхания человека, зависящие от его возраста и двигательной активности. В ряде случаев можно использовать средние данные, приведенные в табл. 1. Численные значения дозовых коэффициентов при ингаляционном поступлении берутся в соответствующем разделе программы Radiological Toolbox 1.0 (рис. 3, 4)

Таблица 1

Средний объем воздуха вдыхаемый человеком за сутки

Возраст	Объем, м ³
3 месяца	2.86
1 год	5.16
5 лет	8.72
10 лет	15.3
15 лет	20.1
Взрослый	22.2

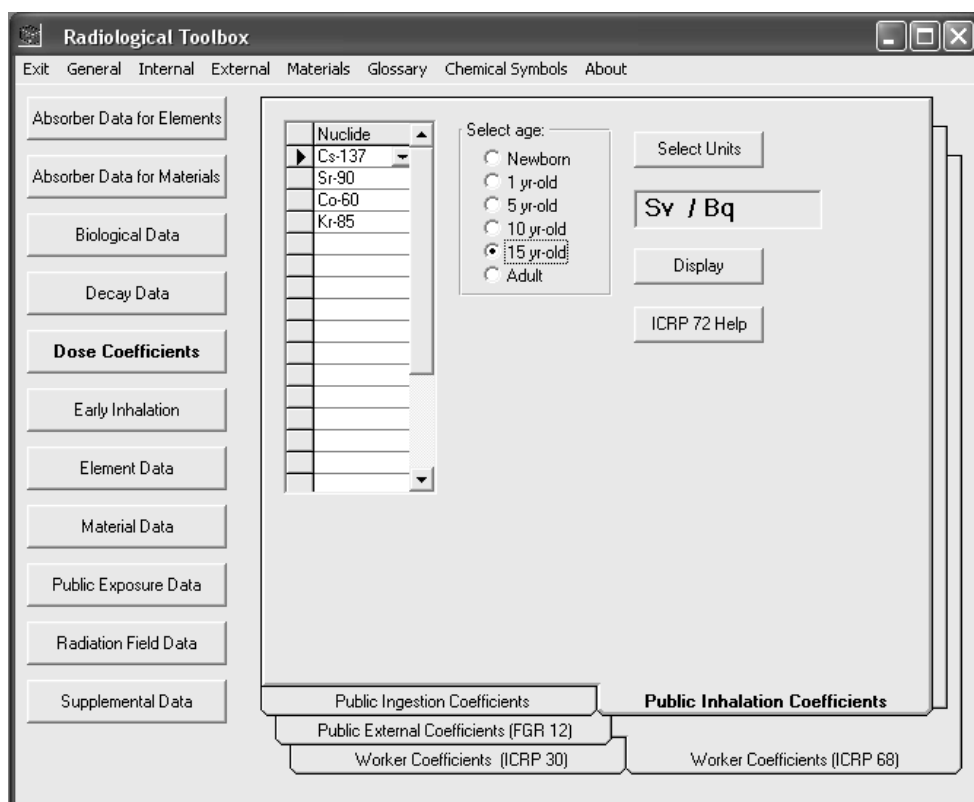
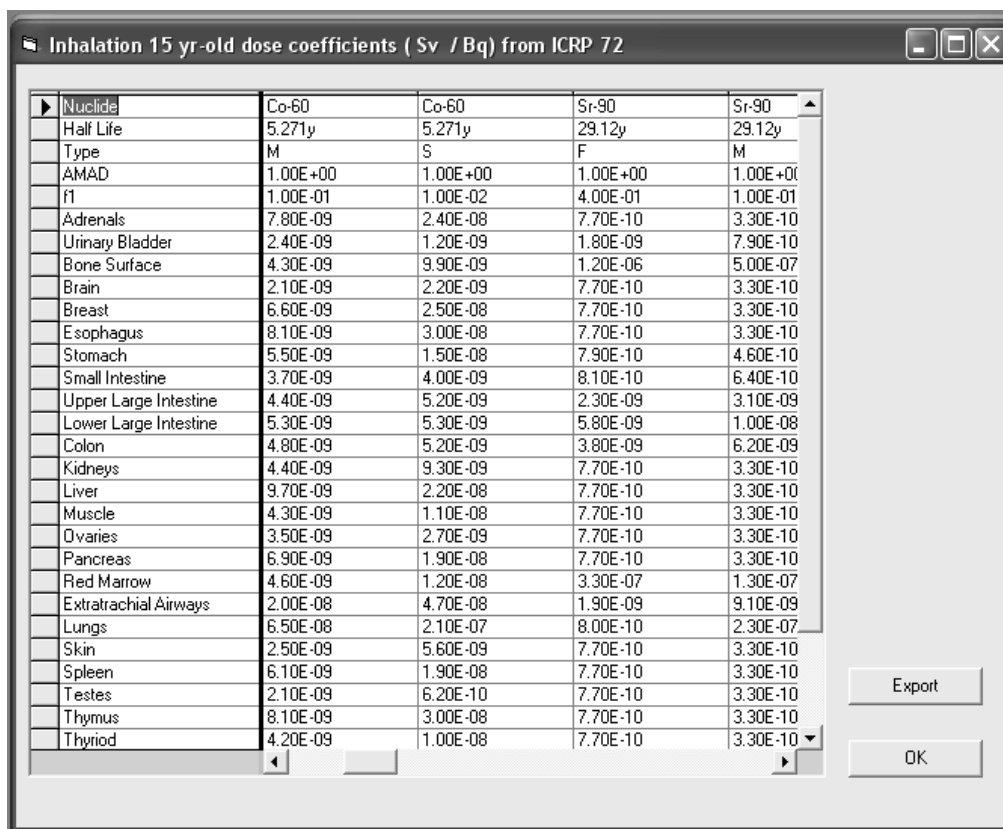


Рис. 3. Рабочая панель выбора дозовых коэффициентов при ингаляционном поступлении



Nuclide	Co-60	Co-60	Sr-90	Sr-90
Half Life	5.271y	5.271y	29.12y	29.12y
Type	M	S	F	M
AMAD	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
f1	1.00E-01	1.00E-02	4.00E-01	1.00E-01
Adrenals	7.80E-09	2.40E-08	7.70E-10	3.30E-10
Urinary Bladder	2.40E-09	1.20E-09	1.80E-09	7.90E-10
Bone Surface	4.30E-09	9.90E-09	1.20E-06	5.00E-07
Brain	2.10E-09	2.20E-09	7.70E-10	3.30E-10
Breast	6.60E-09	2.50E-08	7.70E-10	3.30E-10
Esophagus	8.10E-09	3.00E-08	7.70E-10	3.30E-10
Stomach	5.50E-09	1.50E-08	7.90E-10	4.60E-10
Small Intestine	3.70E-09	4.00E-09	8.10E-10	6.40E-10
Upper Large Intestine	4.40E-09	5.20E-09	2.30E-09	3.10E-09
Lower Large Intestine	5.30E-09	5.30E-09	5.80E-09	1.00E-08
Colon	4.80E-09	5.20E-09	3.80E-09	6.20E-09
Kidneys	4.40E-09	9.30E-09	7.70E-10	3.30E-10
Liver	9.70E-09	2.20E-08	7.70E-10	3.30E-10
Muscle	4.30E-09	1.10E-08	7.70E-10	3.30E-10
Ovaries	3.50E-09	2.70E-09	7.70E-10	3.30E-10
Pancreas	6.90E-09	1.90E-08	7.70E-10	3.30E-10
Red Marrow	4.60E-09	1.20E-08	3.30E-07	1.30E-07
Extratracheal Airways	2.00E-08	4.70E-08	1.90E-09	9.10E-09
Lungs	6.50E-08	2.10E-07	8.00E-10	2.30E-07
Skin	2.50E-09	5.60E-09	7.70E-10	3.30E-10
Spleen	6.10E-09	1.90E-08	7.70E-10	3.30E-10
Testes	2.10E-09	6.20E-10	7.70E-10	3.30E-10
Thymus	8.10E-09	3.00E-08	7.70E-10	3.30E-10
Thyroid	4.20E-09	1.00E-08	7.70E-10	3.30E-10

Рис. 4. Панель дозовых коэффициентов при ингаляционном поступлении

При проведении расчетов необходимо указать и использовать заданный или выбранный тип нуклида при ингаляционном поступлении. Пример расчета эквивалентных доз внутреннего облучения за счет ингаляционного поступления при прохождении радиоактивного облака приведен в табл. П.2. Расчет доз внутреннего облучения при поступлении радионуклидов производится аналогичным образом, за исключением того, что отпадает необходимость рассчитывать поступившую активность.

4. Расчет доз внешнего облучения, обусловленного радиоактивным загрязнением почвы

Для расчета доз внешнего облучения от радиоактивного загрязнения почвы используются соответствующие разделы справочной программы Radiological Toolbox 1.0 (рис. 5, 6). При этом необходимо учитывать, что в перечне нуклидов нужно указывать все нуклиды, входящие в радиоактивную цепочку, поскольку справочные данные приведены только для конкретного нуклида. Кроме того, нужно учитывать плотность почвы, которая в справочных таблицах была принята равной $\rho=1,5 \text{ г/см}^3$. Пример расчета эквивалентных доз внешнего облучения от одного нуклида за счет радиоактивного загрязнения почвы приведен в табл. П.3.

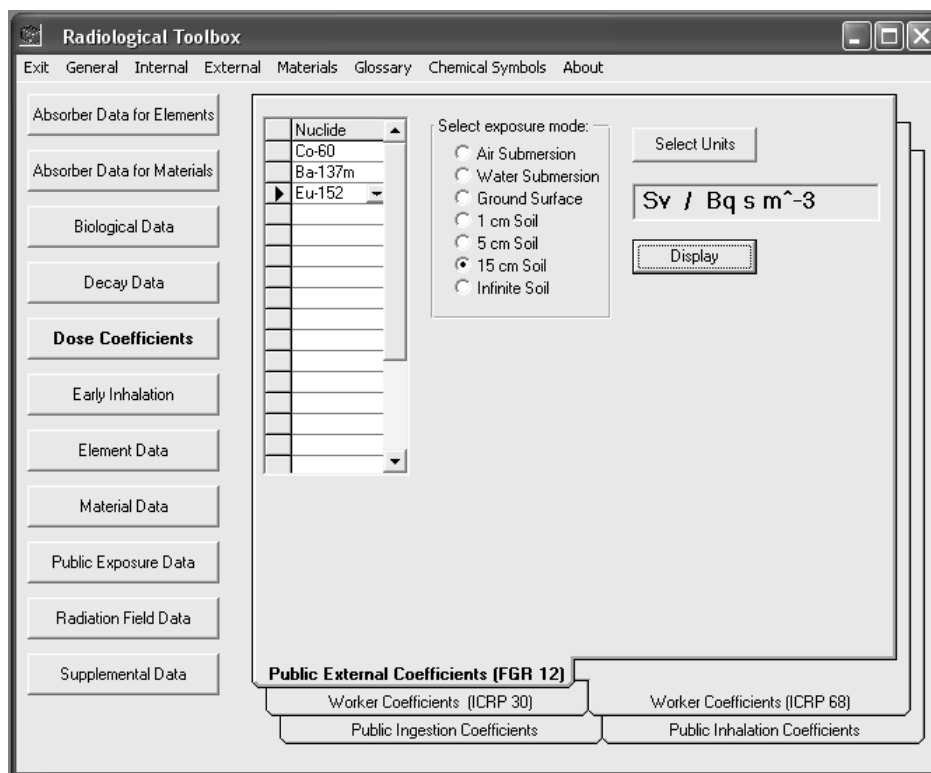


Рис. 5. Панель выбора коэффициентов конверсии при радиоактивном загрязнении почвы

15 cm Soil dose coefficients (Sv / Bq s m⁻³) from FGR 12

Nuclide	Ba-137m	Co-60	Eu-152
Adrenals	1.42E-17	6.36E-17	2.75E-17
Bladder Wall	1.46E-17	6.44E-17	2.82E-17
Bone Surface	2.55E-17	9.75E-17	4.73E-17
Brain	1.62E-17	7.05E-17	3.08E-17
Breast	1.84E-17	7.66E-17	3.43E-17
Esophagus	1.35E-17	6.00E-17	2.60E-17
Stomach Wall	1.47E-17	6.43E-17	2.82E-17
Small Intestine Wall	1.38E-17	6.12E-17	2.66E-17
Upper Large Intestine Wall	1.41E-17	6.23E-17	2.72E-17
Lower Large Intestine Wall	1.42E-17	6.25E-17	2.72E-17
Kidneys	1.51E-17	6.51E-17	2.87E-17
Liver	1.50E-17	6.50E-17	2.86E-17
Lungs	1.63E-17	7.03E-17	3.10E-17
Muscle	1.66E-17	7.11E-17	3.14E-17
Ovaries	1.36E-17	6.17E-17	2.66E-17
Pancreas	1.34E-17	5.93E-17	2.58E-17
Red Marrow	1.62E-17	7.05E-17	3.09E-17
Skin	1.99E-17	8.23E-17	3.69E-17
Spleen	1.51E-17	6.56E-17	2.88E-17
Testes	1.79E-17	7.53E-17	3.36E-17
Thymus	1.57E-17	6.76E-17	2.99E-17
Thyroid	1.53E-17	6.59E-17	2.90E-17
Uterus	1.37E-17	6.06E-17	2.63E-17
Effective (ICRP 26)	1.71E-17	7.25E-17	3.22E-17
Effective (ICRP 60)	1.61E-17	6.91E-17	3.05E-17

Export

OK

Рис. 5. Панель значений коэффициентов конверсии при радиоактивном загрязнении почвы

5. Порядок выполнения расчетной работы

1. Получите у преподавателя индивидуальное задание для выполнения расчетной работы.
2. Произведите расчеты доз облучения на органы и ткани от всех источников облучения человека в условиях окружающей среды.
3. Просуммируйте дозы на органы и ткани от всех источников для использования этих данных при выполнении других заданий по данному курсу.
4. Отчет должен содержать:
 - Исходное индивидуальное задание.
 - Обоснование выбора численных значений используемых параметров.
 - Результаты расчетов и их интерпретацию.
 - Расчетные файлы с пояснениями и комментариями.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гусев Н.Г., Беляев В.А. Радиоактивные выбросы в биосфере. М.: Энергоатомиздат. 1986.
2. Данные для использования при защите от внешнего излучения. Публикация 51 МКРЗ. М.: Энергоатомиздат. 1993.
3. Кириллов В.Ф., Книжников В.А., Коренков И.П. Радиационная гигиена М.: Медицина. 1988.
4. Козлов В.Ф. Справочник по радиационной безопасности. М.: Энергоатомиздат. 1999.
5. Критерии вмешательства в случае ядерной аварии или радиационной аварийной ситуации. Серия изданий по безопасности № 109. МАГАТЭ. Вена. 1998.
6. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). СП 2.6.1.758-99. Минздрав России. 1999.
7. Рекомендации Международной комиссии по радиологической защите 1990 года. Публикация 60 МКРЗ. Пределы годового поступления радионуклидов в организм работающих, основанные на рекомендациях 1990 года. Ч.1; Публикация МКРЗ 61. М.: Энергоатомиздат, 1994.
8. Рекомендации Международной комиссии по радиологической защите 1990 года. Публикация 60 МКРЗ. М.: Энергоатомиздат, 1994. Ч.2.
9. Реконструкция накопленной дозы у жителей бассейна р.Теча и зоны аварии в 1957 г. на производственном объединении “Маяк”. Методические указания МУ 2.6.1.024-95. М.: Госкомсанэпиднадзор России, 1995.
10. Романов Г.Н. Ликвидация последствий радиационных аварий. Справочное руководство. М.: ИздАТ. 1993.
11. Уроки аварий на промышленных облучательных установках. МАГАТЭ. Вена. 1997.
12. Conversion Coefficients for Use in Radiological Protection Against External Radiation. A Joint Report with ICRU. ICRP Publication 74. *Annals of the ICRP* 26 (3-4), Pergamon Press, Oxford. 1996.

13. External Exposure to Radionuclides in Air, Water and Soil. Federal Guidance Report No 12. Environmental Protection Agency. USA. 1993.
14. Health Risks from Low-Level Environmental Exposure to Radionuclides. Federal Guidance Report No 13. Part 1 – Interim Version. Environmental Protection Agency. USA. 1998.
15. International basic safety standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources. Safety series No 115. IAEA. Vienna. 1996.

Таблица П1.

Пример расчета эквивалентных доз при прохождении радиоактивного облака

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Интеграл по концентрации нуклида в воздухе Бк*ч/м3					Ba-137m	Cs-137	Kr-85	Xe-133
2						2.50E+07	2.50E+07	8.40E+08	5.60E+10
3									
4	Air Submersion dose coefficients (Sv / Bq s m ⁻³) from FGR 12					Эквивалентные дозы облучения, Зв			
5	Nuclide	Ba-137m	Cs-137	Kr-85	Xe-133	Ba-137m	Cs-137	Kr-85	Xe-133
6	Adrenals	2.35E-14	4.89E-18	9.43E-17	9.24E-16	=B6*F\$2/3600	=C6*G\$2/3600	=D6*H\$2/3600	=E6*I\$2/3600
7	Bladder Wall	2.32E-14	5.33E-18	9.48E-17	1.04E-15	=B7*F\$2/3600	=C7*G\$2/3600	=D7*H\$2/3600	=E7*I\$2/3600
8	Bone Surface	4.63E-14	2.29E-17	2.20E-16	5.13E-15	=B8*F\$2/3600	=C8*G\$2/3600	=D8*H\$2/3600	=E8*I\$2/3600
9	Brain	3.01E-14	6.46E-18	1.20E-16	1.24E-15	=B9*F\$2/3600	=C9*G\$2/3600	=D9*H\$2/3600	=E9*I\$2/3600
10	Breast	3.22E-14	9.67E-18	1.34E-16	1.96E-15	=B10*F\$2/3600	=C10*G\$2/3600	=D10*H\$2/3600	=E10*I\$2/3600
11	Esophagus	2.34E-14	4.39E-18	9.19E-17	8.02E-16	=B11*F\$2/3600	=C11*G\$2/3600	=D11*H\$2/3600	=E11*I\$2/3600
12	Stomach Wall	2.50E-14	5.65E-18	1.01E-16	1.10E-15	=B12*F\$2/3600	=C12*G\$2/3600	=D12*H\$2/3600	=E12*I\$2/3600
13	Small Intestine Wall	2.24E-14	4.52E-18	8.89E-17	8.48E-16	=B13*F\$2/3600	=C13*G\$2/3600	=D13*H\$2/3600	=E13*I\$2/3600
14	Upper Large Intestine Wall	2.33E-14	4.89E-18	9.31E-17	9.27E-16	=B14*F\$2/3600	=C14*G\$2/3600	=D14*H\$2/3600	=E14*I\$2/3600
15	Lower Large Intestine Wall	2.29E-14	4.58E-18	9.06E-17	8.57E-16	=B15*F\$2/3600	=C15*G\$2/3600	=D15*H\$2/3600	=E15*I\$2/3600
16	Kidneys	2.51E-14	6.00E-18	1.02E-16	1.19E-15	=B16*F\$2/3600	=C16*G\$2/3600	=D16*H\$2/3600	=E16*I\$2/3600
17	Liver	2.53E-14	5.76E-18	1.02E-16	1.12E-15	=B17*F\$2/3600	=C17*G\$2/3600	=D17*H\$2/3600	=E17*I\$2/3600
18	Lungs	2.80E-14	6.68E-18	1.14E-16	1.32E-15	=B18*F\$2/3600	=C18*G\$2/3600	=D18*H\$2/3600	=E18*I\$2/3600
19	Muscle	2.74E-14	7.04E-18	1.12E-16	1.39E-15	=B19*F\$2/3600	=C19*G\$2/3600	=D19*H\$2/3600	=E19*I\$2/3600
20	Ovaries	2.20E-14	4.24E-18	8.42E-17	7.74E-16	=B20*F\$2/3600	=C20*G\$2/3600	=D20*H\$2/3600	=E20*I\$2/3600
21	Pancreas	2.22E-14	4.38E-18	8.81E-17	8.09E-16	=B21*F\$2/3600	=C21*G\$2/3600	=D21*H\$2/3600	=E21*I\$2/3600
22	Red Marrow	2.73E-14	5.70E-18	1.09E-16	1.07E-15	=B22*F\$2/3600	=C22*G\$2/3600	=D22*H\$2/3600	=E22*I\$2/3600
23	Skin	3.73E-14	8.63E-15	1.32E-14	4.97E-15	=B23*F\$2/3600	=C23*G\$2/3600	=D23*H\$2/3600	=E23*I\$2/3600
24	Spleen	2.54E-14	5.72E-18	1.03E-16	1.11E-15	=B24*F\$2/3600	=C24*G\$2/3600	=D24*H\$2/3600	=E24*I\$2/3600
25	Testes	2.82E-14	7.96E-18	1.17E-16	1.61E-15	=B25*F\$2/3600	=C25*G\$2/3600	=D25*H\$2/3600	=E25*I\$2/3600
26	Thymus	2.60E-14	6.43E-18	1.06E-16	1.27E-15	=B26*F\$2/3600	=C26*G\$2/3600	=D26*H\$2/3600	=E26*I\$2/3600
27	Thyroid	2.88E-14	7.55E-18	1.18E-16	1.51E-15	=B27*F\$2/3600	=C27*G\$2/3600	=D27*H\$2/3600	=E27*I\$2/3600
28	Uterus	2.18E-14	4.37E-18	8.66E-17	8.13E-16	=B28*F\$2/3600	=C28*G\$2/3600	=D28*H\$2/3600	=E28*I\$2/3600
29	Effective (ICRP 26)	2.88E-14	7.74E-18	1.19E-16	1.56E-15	=B29*F\$2/3600	=C29*G\$2/3600	=D29*H\$2/3600	=E29*I\$2/3600
30	Effective (ICRP 60)	2.69E-14	9.28E-17	2.40E-16	1.33E-15	=B30*F\$2/3600	=C30*G\$2/3600	=D30*H\$2/3600	=E30*I\$2/3600

Таблица П2.

Пример расчета эквивалентных доз за счет ингаляционного поступления при прохождении радиоактивного облака

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Интеграл по концентрации нуклида в воздухе Бк*ч/м3				Co-60	Sr-90	Cs-137	Inhalation Rates
2					1.50E+06	2.40E+06	2.50E+06	15 year old
3								20.1
4								
5								
6	Inhalation 15 yr-old dose coefficients (Sv / Bq) from ICRP 72				Поступившая активность, Бк			
7	Nuclide	Co-60	Sr-90	Cs-137	Co-60	Sr-90	Cs-137	
8	Half Life	5.271y	29.12y	30.0y				
9	Type	S	M	F	=E2*\$H\$3/24	=F2*\$H\$3/24	=G2*\$H\$3/24	
10	AMAD	1	1	1	Эквивалентные дозы, Зв			
11	f1	0.01	0.1	1	Co-60	Sr-90	Cs-137	Суммарная доза
12	Adrenals	2.40E-08	3.30E-10	4.50E-09	=B12*E\$9	=C12*F\$9	=D12*G\$9	=CYMM(E12:G12)
13	Urinary Bladder	1.20E-09	7.90E-10	4.50E-09	=B13*E\$9	=C13*F\$9	=D13*G\$9	=CYMM(E13:G13)
14	Bone Surface	9.90E-09	5.00E-07	4.40E-09	=B14*E\$9	=C14*F\$9	=D14*G\$9	=CYMM(E14:G14)
15	Brain	2.20E-09	3.30E-10	3.80E-09	=B15*E\$9	=C15*F\$9	=D15*G\$9	=CYMM(E15:G15)
16	Breast	2.50E-08	3.30E-10	3.60E-09	=B16*E\$9	=C16*F\$9	=D16*G\$9	=CYMM(E16:G16)
17	Esophagus	3.00E-08	3.30E-10	4.30E-09	=B17*E\$9	=C17*F\$9	=D17*G\$9	=CYMM(E17:G17)
18	Stomach	1.50E-08	4.60E-10	4.20E-09	=B18*E\$9	=C18*F\$9	=D18*G\$9	=CYMM(E18:G18)
19	Small Intestine	4.00E-09	6.40E-10	4.50E-09	=B19*E\$9	=C19*F\$9	=D19*G\$9	=CYMM(E19:G19)
20	Upper Large Intestine	5.20E-09	3.10E-09	4.60E-09	=B20*E\$9	=C20*F\$9	=D20*G\$9	=CYMM(E20:G20)
21	Lower Large Intestine	5.30E-09	1.00E-08	5.20E-09	=B21*E\$9	=C21*F\$9	=D21*G\$9	=CYMM(E21:G21)
22	Colon	5.20E-09	6.20E-09	4.90E-09	=B22*E\$9	=C22*F\$9	=D22*G\$9	=CYMM(E22:G22)

34	Thymus	3.00E-08	3.30E-10	4.30E-09	=B34*E\$9	=C34*F\$9	=D34*G\$9	=CYMM(E34:G34)
35	Thyriod	1.00E-08	3.30E-10	4.20E-09	=B35*E\$9	=C35*F\$9	=D35*G\$9	=CYMM(E35:G35)
36	Uterus	1.90E-09	3.30E-10	4.60E-09	=B36*E\$9	=C36*F\$9	=D36*G\$9	=CYMM(E36:G36)
37	Remainder	1.00E-08	3.40E-10	5.90E-09	=B37*E\$9	=C37*F\$9	=D37*G\$9	=CYMM(E37:G37)
38	Effective (ICRP 60)	3.40E-08	5.00E-08	4.40E-09	=B38*E\$9	=C38*F\$9	=D38*G\$9	=CYMM(E38:G38)

Таблица ПЗ.

Пример расчета эквивалентных доз внешнего облучения, обусловленных радиоактивным загрязнением почвы

1	A	B	C	D	E	F	G
		Плотность поверхностного загрязнения, Бк/м2	Удельная активность слоя почвы 0-1 см, Бк/г	Удельная активность слоя почвы 1-5 см, Бк/г	Удельная активность слоя почвы 5-15 см, Бк/г	Плотность почвы, г/см3	
2		3.70E+05	2.50E+01	1.10E+01	4.00E+00	1.50E+00	
3	Данные для расчета	=B2	=C2/\$F\$2*1000000	=D2/\$F\$2*1000000	=E2/\$F\$2*1000000		
4							
5	Длительность облучения, лет	1.0					
6	Период полураспада, лет	30.1	Lambda R	=0.693/B6/365/24/3600			
7	Период полувыведения из почвы, лет	25.0	Lambda B	=0.693/B7/365/24/3600		Lambda eff	=D6+D7
8							
9		R surf	R 0-1	R 0-5	R 0-15	Мощность дозы, Зв/с	Накопленная доза, Гр
10	Nuclide	Ba-137m	Ba-137m	Ba-137m	Ba-137m		
11	Adrenals	5.01E-16	3.36E-18	9.17E-18	1.42E-17	=B\$3*B11+E\$3*E11+(D\$3-E\$3)*D11+(C\$3-D\$3-E\$3)*C11	=F11/G\$7*(1-EXP(-G\$7*B\$5*365*24*3600))
12	Bladder Wall	5.35E-16	3.28E-18	9.35E-18	1.46E-17	=B\$3*B12+E\$3*E12+(D\$3-E\$3)*D12+(C\$3-D\$3-E\$3)*C12	=F12/G\$7*(1-EXP(-G\$7*B\$5*365*24*3600))
13	Bone Surface	8.27E-16	5.25E-18	1.56E-17	2.55E-17	=B\$3*B13+E\$3*E13+(D\$3-E\$3)*D13+(C\$3-D\$3-E\$3)*C13	=F13/G\$7*(1-EXP(-G\$7*B\$5*365*24*3600))

34	Uterus	5.17E-16	3.2E-18	8.96E-18	1.37E-17	=B\$3*B33+E\$3*E33+(D\$3-E\$3)*D33+(C\$3-D\$3-E\$3)*C33	=F33/G\$7*(1-EXP(-G\$7*B\$5*365*24*3600))
35	Effective (ICRP 26)	5.86E-16	3.76E-18	1.09E-17	1.71E-17	=B\$3*B34+E\$3*E34+(D\$3-E\$3)*D34+(C\$3-D\$3-E\$3)*C34	=F34/G\$7*(1-EXP(-G\$7*B\$5*365*24*3600))
36	Effective (ICRP 60)	5.79E-16	3.6E-18	1.03E-17	1.61E-17	=B\$3*B35+E\$3*E35+(D\$3-E\$3)*D35+(C\$3-D\$3-E\$3)*C35	=F35/G\$7*(1-EXP(-G\$7*B\$5*365*24*3600))