

УДК 614.876.06:621.039.58

<https://doi.org/10.51523/2708-6011.2025-22-1-11>



# Прогноз дозы облучения сельского населения при штатных радиоактивных выбросах АЭС с реакторами ВВЭР-1200 на основе рекомендаций МАГАТЭ

А. Н. Переволоцкий, Т. В. Переволоцкая

*Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», г. Обнинск, Россия*

## Резюме

**Цель исследования.** Выполнить прогнозную оценку содержания радионуклидов в компонентах окружающей среды и эффективной дозы облучения сельского населения, проживающего в зоне распространения штатных выбросов атомной электростанции (АЭС) с реакторами ВВЭР-1200.

**Материалы и методы.** Исходными данными послужили активности допустимого годового выброса типовой АЭС с 4 реакторами ВВЭР-1200. На основе методических рекомендаций Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) выполнена оценка содержания радионуклидов в приземном слое воздуха, корнеобитаемом слое почвы, основных продуктах питания и дозы облучения сельского населения, проживающего на различном расстоянии от АЭС.

**Результаты.** Среднегодовалая объемная активность радионуклидов в приземном слое воздуха прогнозируется на удалении 1–2 км от АЭС и может достигать 0,7 Бк/м<sup>3</sup> по <sup>133</sup>Xe, 0,2 — по <sup>3</sup>H и <sup>88</sup>Kg, единиц-десятых долей мкБк/м<sup>3</sup> по радиоизотопам цезия и йода. За 30 лет работы АЭС плотность загрязнения корнеобитаемого слоя почвы на расстоянии 1–2 км от АЭС прогнозируется ~5 Бк/м<sup>2</sup> по <sup>137</sup>Cs. В продуктах питания содержание <sup>3</sup>H и <sup>14</sup>C может достигнуть единиц Бк/кг, а радиоизотопов цезия — десятков мБк/кг. Среднегодовалая эффективная доза облучения сельского населения, проживающего на расстоянии ~1 км от АЭС, оценивается ~1,4 мкЗв/год, 3 км — 0,7, 10 км — 0,15 и на границе 30-километровой зоны — 0,5. При этом вклад внутреннего облучения в эффективную дозу достигает 70 % от перорального поступления радионуклидов, основными дозообразующими радионуклидами являются <sup>3</sup>H и <sup>14</sup>C.

**Заключение.** При штатных выбросах АЭС эффективная доза облучения сельского населения, проживающего на расстоянии ~1 км от АЭС, составит ~1,4 мкЗв/год, что значительно ниже по сравнению с допустимой для населения, согласно НРБ-99/2009 (1 мЗв/год), квотой на облучение населения от газоаэрозольных выбросов действующей АЭС (200 мкЗв/год) и минимально значимой дозой (10 мкЗв/год).

**Ключевые слова:** штатные радиоактивные выбросы, атомная электростанция, ВВЭР-1200, удельная активность, радионуклиды, внутреннее облучение, внешнее облучение, эффективная доза

**Вклад авторов.** Авторы внесли равнозначный вклад в подготовку статьи.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Источники финансирования.** Исследование проведено согласно плану научно-исследовательских работ по государственному заданию.

**Для цитирования:** Переволоцкий АН, Переволоцкая ТВ. Прогноз дозы облучения сельского населения при штатных радиоактивных выбросах АЭС с реакторами ВВЭР-1200 на основе рекомендаций МАГАТЭ. Проблемы здоровья и экологии. 2025;22(1):87–93. DOI: <https://doi.org/10.51523/2708-6011.2025-22-1-11>

## The forecast of the radiation dose of the rural population in case of regular radioactive emissions from nuclear power plants with VVER-1200 reactors based on the recommendations of the IAEA

Aleksander N. Perevolotsky, Tatiana V. Perevolotskaya

*Russian Institute of Radiology and Agroecology of National Research Centre «Kurchatov Institute», Obninsk, Russia*

## Abstract

**Objective.** To carry out predictive assessment of the content of radionuclides in environmental components and the effective radiation dose of the rural population living in the zone of distribution of regular emissions of nuclear power plants with VVER-1200 reactors.

**Materials and methods.** The initial data were the activity of the permissible annual emission of a typical nuclear power plant with 4 VVER-1200 reactors. An assessment of the content of radionuclides in the surface layer of air, the root layer of soil, basic foodstuffs and the radiation dose of the rural population at various distances from the NPP was carried out based on the IAEA's methodological recommendations.

**Results.** The average long-term volumetric activity of radionuclides in the surface air layer is predicted at a distance of 1-2 km from the NPP and can reach 0.7 Bq/m<sup>3</sup> for <sup>133</sup>Xe, 0.2 for <sup>3</sup>H and <sup>88</sup>Kr, units-tenths of μBq/m<sup>3</sup> for radioisotopes of caesium and iodine. Over 30 years of NPP operation, the density of contamination of the root-inhabited soil layer at a distance of 1-2 km from the NPP is predicted to be ~5 Bq/m<sup>2</sup> according to <sup>137</sup>Cs. In food, the content of <sup>3</sup>H and <sup>14</sup>C can reach units of Bq/kg, and radioisotopes of caesium – tens of mBq/kg. The average long-term effective radiation dose of the rural population at a distance of ~1 km from the NPP is estimated at ~1.4 μSv/year, 3 km – 0.7, 10 km – 0.15 and at the border of the 30-kilometer zone – 0.5. At the same time, the contribution of internal radiation to the effective dose reaches 70% of the oral intake of radionuclides, the main dose-forming radionuclides are <sup>3</sup>H and <sup>14</sup>C.

**Conclusion.** With regular emissions of nuclear power plants, the effective radiation dose of the rural population will be ~1.4 μSv/year at a distance of ~1 km from the NPP, which is significantly lower than the permissible for the population according to NRB-99/2009 (1 mSv/year), the quota for irradiation of the population from aerosol emissions of an operating NPP (200 μSv/year) and the minimum a significant dose (10 μSv / year).

**Keywords:** standard radioactive emissions, nuclear power plant, VVER-1200, specific activity, radionuclides, internal irradiation, external irradiation, effective dose

**Author contributions.** The authors made an equal contribution to the preparation of the article.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Funding.** The study was conducted according to the plan of scientific research on the state assignment.

**For citation:** Perevolotsky AN, Perevolotskaya TV. The forecast of the radiation dose of the rural population in case of regular radioactive emissions from nuclear power plants with VVER-1200 reactors based on the recommendations of the IAEA. Health and Ecology Issues. 2025;22(1):87–93. DOI: <https://doi.org/10.51523/2708-6011.2025-22-1-11>

## Введение

Одной из проблем, связанной с обеспечением радиационной безопасности населения при проживании в зоне распространения штатных радиоактивных выбросов АЭС, является дополнительное облучение вследствие поступления в окружающую среду радионуклидов — продуктов деления [1, 2]. По этой причине на этих территориях проводятся мониторинговые радиозэкологические исследования, результаты которых свидетельствуют о низких концентрациях радионуклидов в основных компонентах окружающей среды, практически не отличающихся от уровня, обусловленного глобальным радиоактивным загрязнением, а также низких дозах внешнего и внутреннего облучения населения [3–5]. В связи с этим актуализируются вопросы расчетных оценок дополнительного загрязнения окружающей среды при штатных радиоактивных выбросах АЭС и дозах облучения населения. Для этих целей разработаны научно-методические документы, позволяющие выполнить подобные оценки с различной степенью консервативности, учетом различных путей поступления радионуклидов в организм человека, формирования дозы внешнего и внутреннего облучения [6–8].

## Цель исследования

Выполнить прогнозную оценку содержания радионуклидов в компонентах окружающей среды и эффективной дозы облучения сельского населения, проживающего в зоне распространения штатных выбросов АЭС с реакторами ВВЭР-1200.

## Материалы и методы

Исходными данными для прогнозных расчетов послужили активности допустимого годового выброса типовой АЭС с 4 реакторами ВВЭР-1200. Величина выброса радиоизотопов инертных газов допускается 1,8 ПБк (60 % активности приходится на <sup>133</sup>Xe, 17 % — <sup>135</sup>Xe, 11 % — <sup>88</sup>Kr, 5 % — <sup>85m</sup>Kr), радиоизотопов иода — 1,9 ГБк (30 % — <sup>133</sup>I, по 20 % — <sup>135</sup>I и <sup>132</sup>I, по 15 % — <sup>131</sup>I и <sup>134</sup>I), радиоактивных аэрозолей — 0,2 ГБк (59 % — <sup>137</sup>Cs, 40 % — <sup>134</sup>Cs), <sup>3</sup>H — 15 ТБк, <sup>14</sup>C — 1,2 ТБк [3]. Предполагали постоянную интенсивность выброса в течение календарного года. Эффективная высота выброса принята равной геометрической высоте вентиляционной трубы — 100 м, аэродинамическая шероховатость земной поверхности — 100 см.

Среднемноголетнюю объемную активность радионуклидов в приземном слое воздуха рассчитывали на основе Гауссовой модели рассеяния непрерывных выпадений для румба с максимальной частотой реализации в круговой розе ветров [6, 7]. Сочетания частоты повторяемости категорий устойчивости атмосферы и скорости ветра на высоте флюгера приняты согласно рекомендациям Научного комитета по действию атомной радиации ООН [8]. Интенсивность вымывания радионуклидов из приземного слоя воздуха рассчитана из условия выпадения в течение года 500 мм жидких и по 100 мм твердых и смешанных осадков и составляет  $1,2 \times 10^{-6} \text{ c}^{-1}$ .

Плотность загрязнения корнеобитаемого слоя почвы радионуклидами за 30 лет штатных выпадений АЭС рассчитывали исходя из интенсивности «сухого» и «мокрого» осаждения с учетом константы экологического очищения этого слоя [7]. Осаждение радиоизотопов йода консервативно принимали в молекулярной форме.

При расчетах не учитывали среднесуточную объемную активность в приземном слое воздуха и осаждение долгоживущих радионуклидов глобальных радиоактивных выпадений.

Удельную активность радионуклидов в травостое, молоке, мясе и продуктах растительного происхождения рассчитывали для воздушного и корневого путей поступления для наиболее типичных дерново-подзолистых супесчаных почв без учета эндемичности региона [7].

Эффективную дозу облучения взрослого сельского населения рассчитывали на основе коэффициентов дозового преобразования при постоянном проживании в населенных пунктах на удалении 1, 3, 10 и 30 км от АЭС согласно требованиям международных организаций. Время нахождения на открытом воздухе — 12 ч/сут, оставшаяся часть — в деревянном одноэтажном здании.

Внешнее облучение населения рассмотрено от гамма-излучения радионуклидов, находящихся в почве и приземном слое воздуха, внутреннее — от ингаляционного и перорального поступления радионуклидов [7, 8].

Объемная активность радионуклидов в приземном слое воздуха принята постоянной и одинаковой на открытом воздухе и в воздухе помещений.

При расчете дозы внутреннего облучения от ингаляционного поступления радиоизотопов

йода консервативно предполагали, что они находятся только в молекулярной форме.

При расчете внутреннего облучения от перорального поступления радионуклидов принимали годовой рацион в размере 250 л молока, 410 кг овощей и 100 кг мяса [3]. Поступлением радионуклидов с питьевой водой и прочими продуктами питания пренебрегали. Эффективную дозу внутреннего облучения от поступления  $^3\text{H}$  и  $^{14}\text{C}$  рассчитывали согласно [8]. При расчетах дозы внешнего и внутреннего облучения применяли коэффициенты дозового преобразования [9, 10].

## Результаты и обсуждение

Наибольшая среднесуточная объемная активность радионуклидов из состава постоянного выброса в приземном слое воздуха прогнозируется на расстоянии 1–2 км от АЭС, достигая  $0,7 \text{ Бк/м}^3$  по  $^{133}\text{Xe}$  (рисунок 1). Концентрация  $^3\text{H}$  и  $^{88}\text{Kr}$  составляют  $\sim 0,2 \text{ Бк/м}^3$ , что связано с их сопоставимой активностью в годовом выбросе. По этой же причине близки среднесуточные объемные активности  $^{14}\text{C}$ ,  $^{83\text{m}}\text{Kr}$ ,  $^{85}\text{Kr}$ ,  $^{131\text{m}}\text{Xe}$  и  $^{138}\text{Xe}$  —  $\sim 0,01 \text{ мБк/м}^3$ . Концентрация  $^{131}\text{I}$  составит единицы  $\text{мкБк/м}^3$ ,  $^{137}\text{Cs}$  — десятые доли и  $^{134}\text{Cs}$  — сотые доли  $\text{мкБк/м}^3$ . По мере удаления от АЭС среднесуточные объемные активности этих радионуклидов будут снижаться на порядок на расстоянии 10 км и в 20–25 раз — на периферии 30-километровой зоны. В целом в пределах этой зоны прогнозируется очень низкое содержание радионуклидов выброса в приземном слое воздуха, сопоставимое с фоновыми показателями [3–5, 11–13].

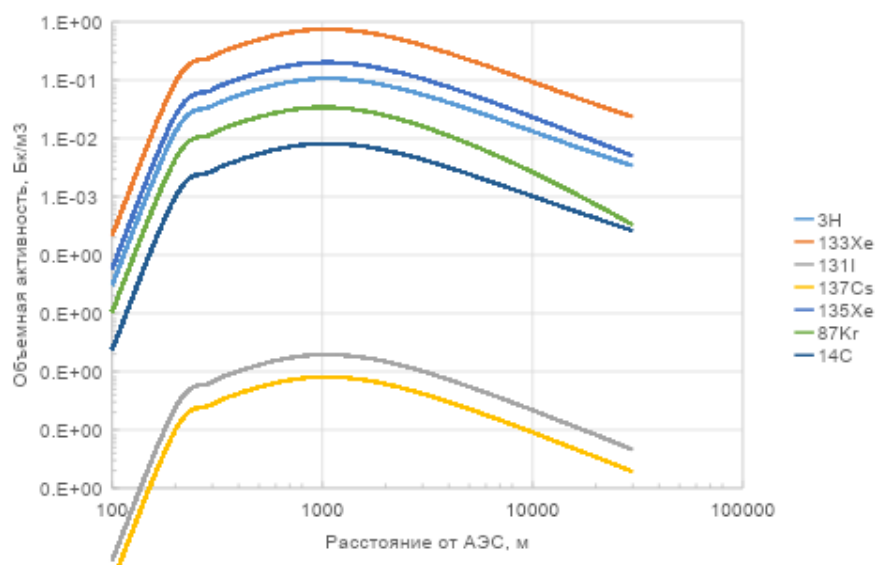


Рисунок 1. Среднесуточная объемная активность радионуклидов в приземном слое воздуха на румбе с максимальной частотой реализации

Figure 1. Long-time average annual volumetric activity of radionuclides in the surface air layer at the rhumb with the maximum frequency of implementation

Среднемноголетняя интенсивность осадения радиоизотопов йода на земную поверхность на удалении 1 км от АЭС составит ~1,4 мБк/(м<sup>2</sup>·сут), цезия — ~0,6 мБк/(м<sup>2</sup>·сут). Этот же показатель АЭС с реакторами РБМК и ВВЭР находится в диапазоне от 0,2 до 60 мБк/(м<sup>2</sup>·сут), что связано с различными типами реакторов и конструктивными особенностями очистных систем [4, 5, 12]. Последний фактор определяет различия в среднемноголетней интенсивности осадения даже на станциях с одинаковыми типами энергоблоков [12].

Плотность загрязнения почвы <sup>137</sup>Cs на расстоянии 1–2 км от АЭС может достигнуть 5 Бк/м<sup>2</sup>, а на границе 30-километровой зоны — 0,1 Бк/м<sup>2</sup> (рисун

ок 2). Для <sup>131</sup>I из-за малого периода полураспада плотность загрязнения стабилизируется на уровне 17 мБк/м<sup>2</sup>. С увеличением расстояния от АЭС плотность загрязнения будет снижаться. Обращает на себя внимание слабое изменение плотности загрязнения корнеобитаемого слоя почвы на расстоянии 100–1500 м, что связано с эффективным вымыванием радиоизотопов атмосферными осадками вблизи АЭС, где струя выброса наиболее плотная и компактная. В целом же можно констатировать, что штатные радиоактивные выпадения АЭС вносят незначительный вклад в фоновое загрязнение основных компонент окружающей среды <sup>137</sup>Cs, которое обусловлено глобальными радиоактивными выпадениями [4, 5].

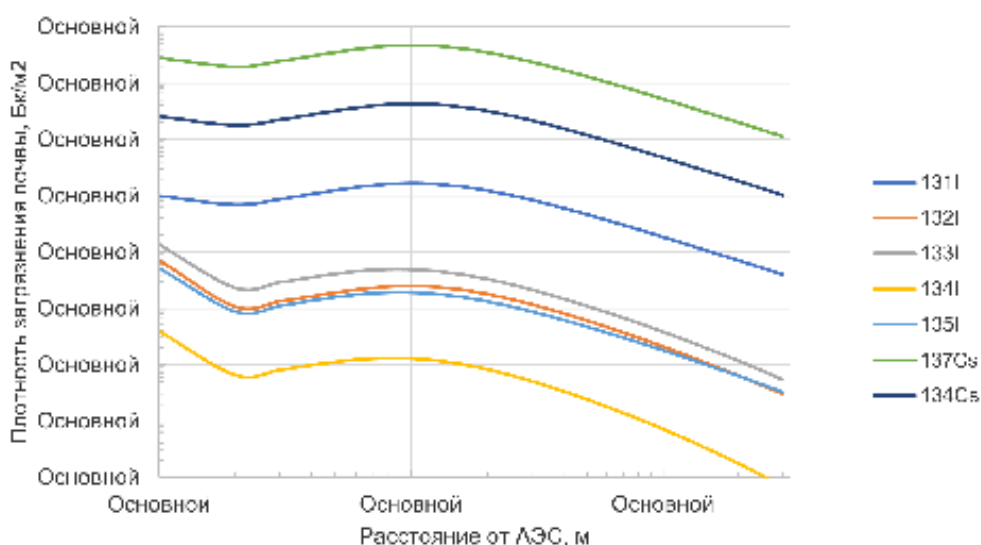


Рисунок 2. Плотность загрязнения корнеобитаемого слоя почвы на на румбе с максимальной частотой реализации  
Figure 2. Contamination density of the root layer of the soil on on the rhumb with the maximum frequency of implementation

На расстоянии ~1 км от АЭС прогнозируется максимальное содержание радионуклидов в продуктах растительного и животного происхождения, которое может достигать по <sup>3</sup>H и <sup>14</sup>C единицы Бк/кг, а радиоизотопов цезия — десятков мБк/кг (таблица 1). При этом несколько большие активности <sup>3</sup>H наблюдаются в продуктах растительного происхождения, <sup>14</sup>C и изотопов цезия — в мясе. Удельная активность

радиоизотопов йода в основных продуктах составит единицы мБк/кг. Отметим, что для <sup>3</sup>H, <sup>14</sup>C и I основным путем загрязнения является аэраальный, в то время как для радиоизотопов цезия — корневой. Это определяется накоплением долгоживущих радиоизотопов цезия в почве, что не так выражено для короткоживущих изотопов йода, хотя интенсивность осадения последних на почву почти в 2 раза больше.

Таблица 1. Прогнозируемая концентрация радионуклидов в травостое и основных продуктах питания на расстоянии 1 км от АЭС, Бк/кг(л)  
Table 1. Predicted concentration of radionuclides in grass stand and basic foodstuffs at a distance of 1000 m from the NPP, Bq/kg(l)

Table 1. Predicted concentration of radionuclides in grass stand and basic foodstuffs at a distance of 1000 m from the NPP, Bq/kg(l)

Вид продукции	<sup>3</sup> H	<sup>14</sup> C	<sup>131</sup> I	<sup>132</sup> I	<sup>133</sup> I	<sup>134</sup> I	<sup>135</sup> I	<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs
Травостой	7,1	2,4	0,003	—	0,002	—	—	0,02	0,047
Молоко	5,5	1,6	0,005	—	0,001	—	—	0,003	0,007
Мясо	4,2	4,9	0,003	—	—	—	—	0,01	0,03
Продукты растительного происхождения	8,6	0,7	0,003	—	—	—	—	0,002	0,003



Важно отметить, что содержание  $^{137}\text{Cs}$  в основных продуктах питания, обусловленного глобальными радиоактивными выпадениями, примерно в 1000 раз больше по сравнению с концентрацией радионуклида, рассчитанной при штатных выбросах АЭС [4]. Соответственно, поступление за счет последних увеличит удельную активность  $^{137}\text{Cs}$  в продуктах питания не более чем на десятые доли процента.

Среднемноголетняя эффективная доза облучения взрослого сельского населения оценивается  $\sim 1,4$  мкЗв/год при проживании на расстоянии  $\sim 1$  км от АЭС,  $\sim 0,7$  — 3 км, 0,15 — 10 км и 0,5 — на границе 30-километровой зоны (таблица 2). Таким образом, даже на удалении 1 км рассчитанная доза значительно ниже по сравнению с допустимой для населения соглас-

но НРБ-99/2009 (1 мЗв/год), квотой на облучение населения от газоаэрозольных выбросов действующей АЭС (200 мкЗв/год) и минимально значимой дозой (10 мкЗв/год) [1, 2]. Рассчитанные дозы облучения согласуются с диапазоном 0,5–6 мкЗв/год, характерным для российских АЭС с различными реакторными установками [3, 4, 14]. При этом следует отметить, что на  $\sim 70$  % эффективная доза формируется за счет перорального поступления и оставшаяся часть — от излучения радионуклидов, находящихся в облаке штатного выброса. Внутреннее облучение от ингаляционного поступления радионуклидов и внешнее облучение от гамма-излучения радионуклидов, находящихся на поверхности почвы, составляет доли процента.

Таблица 2. Прогнозируемая доза облучения сельского населения от радионуклидов из состава штатного выброса при проживании на расстоянии 1 км от АЭС, мкЗв/год

Table 2. Forecasted dose of radiation to the rural population from radionuclides from the regular emission at a distance of 1 km from the NPP,  $\mu\text{Sv}/\text{year}$

Расстояние, км	Источник облучения									
	внешний		ингаляция				перорально			
	облако	почва	I	Cs	$^3\text{H}$	$^{14}\text{C}$	I	Cs	$^3\text{H}$	$^{14}\text{C}$
1	0,35	0,04	$3 \times 10^{-4}$	$7 \times 10^{-5}$	$4 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-5}$	0,07	0,12	0,11	0,72
3	0,11	0,02	$1 \times 10^{-4}$	$3 \times 10^{-5}$	$2 \times 10^{-4}$	$4 \times 10^{-6}$	0,03	0,06	0,05	0,32
10	0,03	0,004	$4 \times 10^{-5}$	$7 \times 10^{-6}$	$4 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-6}$	0,007	0,01	0,01	0,09
30	0,006	$7 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-5}$	$4 \times 10^{-7}$	0,001	0,003	0,002	0,04

Во внутреннем облучении основную роль играет пероральное поступление  $^{14}\text{C}$  ( $\sim 70$  %) и  $^3\text{H}$  ( $\sim 12$  %). При этом для первого из них вклад различных компонент рациона в дозоформирование сопоставим, в то время как  $^3\text{H}$  поступает, главным образом, с продуктами растительного происхождения (таблица 3). Характерно, что полученные результаты расчета дозы внутреннего

облучения  $^{14}\text{C}$  и  $^3\text{H}$  сопоставимы с таковыми для российских АЭС с аналогичными показателями годового выброса [13, 15–17]. Поступление долгоживущего  $^{137}\text{Cs}$  с продуктами питания определит не более 10 % дозы внутреннего облучения, и этот вклад примерно одинаков с результатами других исследователей [3–5, 9].

Таблица 3. Вклад радионуклидов и компонент рациона в формирование дозы внутреннего облучения, %

Показатель	Радионуклиды						Вклад по компонентам рациона
	$^3\text{H}$	$^{14}\text{C}$	$^{131}\text{I}$	$^{133}\text{I}$	$^{134}\text{Cs}$	$^{137}\text{Cs}$	
Молоко	2,7	24	3,3	0,2	1,9	3,2	35,3
Мясо	0,8	31	0,5	—	1,7	3,0	37,0
Продукты растительного происхождения	6,9	18	1,3	0,1	0,6	0,8	27,7
Вклад по радионуклидам	10,4	73	5,1	0,3	4,2	7,0	—

Расчетная величина дозы внешнего облучения от гамма-излучения радионуклидов, находящихся в облаке штатного выброса, составляет

$\sim 0,35$  мкЗв/год на удалении 1 км от АЭС, причем на 99,8 % эта доза формируется за счет радионуклидов инертных газов, что согласуется с рас-

четами, выполненными А. И. Крышевым с соавт. [18]. При этом основной вклад в облучение вносят  $^{88}\text{Kг}$  — ~50 %,  $^{135}\text{Xe}$  — ~20 % и  $^{87}\text{Kг}$  — ~12 %.

Снижение дозы облучения взрослого сельского населения по мере удаления их проживания от АЭС сопровождается увеличением вклада внутреннего облучения от перорального поступления  $^{14}\text{C}$ . При этом вклад внешнего облучения радиоизотопов инертных газов снижается за счет уменьшения их концентрации в приземном слое воздуха по мере удаления от станции.

## Заключение

Спрогнозирована среднесрочная объемная активность радионуклидов в приземном слое воздуха, интенсивность их осаднения на

земную поверхность и эффективная доза облучения взрослого сельского населения, проживающего вблизи АЭС с 4 энергоблоками ВВЭР-1200. Установлено, что на румбе с максимальной вероятностью реализации в круговой розе ветров на удалении ~1 км от АЭС содержание радионуклидов из состава штатных выпадений в почве и продуктах питания в 1000 раз меньше по сравнению с уровнем, обусловленным глобальными радиоактивными выпадениями. Эффективная доза облучения сельского населения составит ~1,4 мкЗв/год, что значительно ниже по сравнению с допустимой согласно НРБ–99/2009 (1 мЗв/год) и квотой на облучение населения от газоаэрозольных выбросов действующей АЭС (200 мкЗв/год).

## Список литературы / References

1. Нормы радиационной безопасности (НРБ–99/2009). Москва: НТЦ ЯРБ; 2009.  
Radiation safety standards (NRB–99/2009). Moscow: STC NRS; 2009. (In Russ.).
2. Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций (СП АС–03). Москва: НТЦ ЯРБ; 2003.  
Sanitary rules for the design and operation of nuclear power plants (SR NPP–03). Moscow: STC NRS; 2003. (In Russ.).
3. Мониторинг природных и аграрных экосистем в районах расположения атомных электростанций: Труды ФГБНУ ВНИИРАЭ. Вып. 3. Под ред. С.В. Фесенко. Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ; 2020.  
Monitoring of natural and agricultural ecosystems in the areas of nuclear power plants: Proceedings of the RIRAE. Iss. 3. Ed. S.V. Fesenko. Obninsk: RIRAE; 2020. (In Russ.).
4. Панченко С.В., Ведерникова М.В., Линге И.И., Мелихова Е.М., Уткин С.С., Аракелян А.А. и др. Радиоэкологическая обстановка в регионах расположения предприятий Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом». М.: Росатом; 2021.  
Panchenko SV, Vedernikova MV, Linge II, Melikhova EM, Utkin SS, Arakelyan AA, et al. Radioecological situation in the regions where enterprises are located Rosatom State Atomic Energy Corporation. Moscow: Rosatom; 2021. (In Russ.).
5. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2022 г. Ежегодник. Обнинск: Росгидромет, НПО Тайфун; 2023. [дата обращения 2025 январь 28]. Режим доступа: <https://egasmro.ru/ru/data>  
Radiation situation on the territory of Russia and neighboring countries in 2022 The yearbook. Obninsk: Roshydromet, SPA Typhoon; 2023. [date of access 2025 January 18]. Available from: <https://egasmro.ru/ru/data> (In Russ.).
6. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии «Рекомендуемые методы расчета параметров, необходимых для разработки и установления нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух» (РБ-106-21). М.: НТЦ ЯРБ; 2021.  
Safety guidelines for the use of atomic energy "Recommended methods for calculating the parameters necessary for the development and establishment of standards for maximum permissible emissions of radioactive substances into the atmospheric air" (RB-106-21). Moscow: STC NRS; 2021. (In Russ.).
7. Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment. Vienna: IAEA; 2001. [date of access 2025 January 18]. Available from: <https://www.iaea.org/publications/6024/generic-models-for-use-in-assessing-the-impact-of-discharges-of-radioactive-substances-to-the-environment>
8. Annex A. Methodology for Estimating Public Exposures due to Radioactivity Discharges. In: Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR 2016 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. New York: United Nations; 2016. [date of access 2025 January 18]. Available from: [https://www.unscear.org/docs/publications/2016/UNSCEAR\\_2016\\_GA-Report.pdf](https://www.unscear.org/docs/publications/2016/UNSCEAR_2016_GA-Report.pdf)
9. ICRP; Eckerman K, Harrison J, Menzel HG, Clement CH. ICRP Publication 119: Compendium of dose coefficients based on ICRP Publication 60. *Ann ICRP*. 2012;41 Suppl 1:1-130. *Erratum in: Ann ICRP*. 2013 Aug;42(4):345.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.icrp.2012.06.038>
10. Petoussi-Hens N, Satoh D, Endo A, Eckerman KF, Bolch WE, Hunt J, et al. ICRP Publication 144: Dose Coefficients for External Exposures to Environmental Sources. *Ann ICRP*. 2020 Oct;49(2):111-145.  
DOI: <https://doi.org/10.1177/0146645320906277>
11. Газиев И.Я., Крышев А.И. Модельные расчеты радиоактивного загрязнения атмосферы, местности, сельскохозяйственной продукции и доз облучения населения в зоне наблюдений Нововоронежской АЭС. Радиация и риск. 2010;19(1):48-59. [дата обращения 2025 январь 28]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelnye-raschyoty-radioaktivnogo-zagryazneniya-atmosfery-mestnosti-selskokozyaystvennoy-produktsii-i-doz-oblucheniya-naseleniya-v>  
Gaziev IYa, Kryshev AI. Model calculations of radioactive contamination of the atmosphere, terrain, agricultural products and radiation doses of the population in the observation area of the Novovoronezh NPP. *Radiation and Risk*. 2010;19(1):48-59. [date of access 2025 January 18]. Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelnye-raschyoty-radioaktivnogo-zagryazneniya-atmosfery-mestnosti-selskokozyaystvennoy-produktsii-i-doz-oblucheniya-naseleniya-v> (In Russ.).
12. Kryshev II, Bulgakov VG, Kryshev AI, Katkova MN, Sazykina TG, Pavlova NN, et al. Radioactive monitoring of the surface air layer and atmospheric fallout near NPP. *Atomic Energy*. 2019;126(4): 264-271.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10512-019-00548-8>
13. Kryshev AI, Vasyanovich ME, Ekinin AA, Filatov YN, Murashova EL. Tritium entry into the atmosphere with emissions from NPP VVER and population irradiation dose assessment. *Atomic Energy*. 2020;128(6): 362-367.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10512-021-00703-0>
14. Екидин А.А., Васянович М.Е., Васильев А.В., Капустин И.А., Крышев А.И., Сазыкина Т.Г., Косых И.В. Определение радионуклидного состава и оценка доз облучения населения за счет атмосферных выбросов российских АЭС.

*Траектория исследований – человек, природа, технологии.* 2022;2(2):53-63.

DOI: [https://doi.org/10.56564/27825264\\_2022\\_2\\_53](https://doi.org/10.56564/27825264_2022_2_53)

Ekidin AA, Vasyanovich ME, Vasiliev AV, Kapustin IA, Kryshev A I, Sazykina TG, Kosykh IV. Determination of radionuclide composition and assessment of radiation doses to the population due to atmospheric emissions from Russian nuclear power plants. *The Trajectory of Research is Man, Nature, And Technology.* 2022;2(2):53-63. (In Russ.).

DOI: [https://doi.org/10.56564/27825264\\_2022\\_2\\_53](https://doi.org/10.56564/27825264_2022_2_53)

15 Nazarov EI, Kruzhalov AV, Ekidin AA, Vasyanovich ME, Kryshev AI, Parkhomchuk EV. Appraisal method for the population radiation dose from <sup>14</sup>C emissions of nuclear enterprises.

*Atomic Energy.* 2022;132(6):371-376.

DOI: <https://doi.org/10.1007/s10512-023-00962-z>

16. Kryshev AI, Kryshev II, Vasyanovich ME, Ekidin AA, Kapustin IA, Murashova EL. Population irradiation dose assessment for <sup>14</sup>C emissions from NPP with RBMK-1000 and EGP-2 reactors. *Atomic Energy.* 2020;128(1):53-59.

DOI: <https://doi.org/10.1007/s10512-020-00650-2>

17. Kryshev AI, Sazykina TG, Vasyanovich ME, Ekidin AA, Kapustin IA. Radionuclide composition of NPP gas emissions and population radiation dose assessment. *Atomic Energy.* 2021;130(5):304-309.

DOI: <https://doi.org/10.1007/s10512-021-00814-8>

## Информация об авторах / Information about the authors

**Переволоцкий Александр Николаевич**, д.б.н., ведущий научный сотрудник лаборатории математического моделирования и программно-информационного обеспечения, ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Обнинск, Россия

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6913-7609>

e-mail: [Aleks\\_Perevolotsky@mail.ru](mailto:Aleks_Perevolotsky@mail.ru)

**Переволоцкая Татьяна Витальевна**, к.б.н., доцент, старший научный сотрудник лаборатории математического моделирования и программно-информационного обеспечения, ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Обнинск, Россия

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8250-5536>

e-mail: [forest\\_rad@mail.ru](mailto:forest_rad@mail.ru)

**Aleksander N. Perevolotsky**, Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher at the Laboratory of Mathematical Modeling and Software and Information Support, All-Russian Scientific Research Institute of Radiology and Agroecology of the National Research Center “Kurchatov Institute”, Obninsk, Russia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6913-7609>

e-mail: [Aleks\\_Perevolotsky@mail.ru](mailto:Aleks_Perevolotsky@mail.ru)

**Tatiana V. Perevolotskaya**, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Senior Researcher at the Laboratory of Mathematical Modeling and Software and Information Support, All-Russian Scientific Research Institute of Radiology and Agroecology of the National Research Center “Kurchatov Institute”, Obninsk, Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8250-5536>

e-mail: [forest\\_rad@mail.ru](mailto:forest_rad@mail.ru)

## Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

**Переволоцкий Александр Николаевич**

e-mail: [Aleks\\_Perevolotsky@mail.ru](mailto:Aleks_Perevolotsky@mail.ru)

**Aleksander N. Perevolotsky**

e-mail: [Aleks\\_Perevolotsky@mail.ru](mailto:Aleks_Perevolotsky@mail.ru)

Поступила в редакцию / Received 21.08.2024

Поступила после рецензирования / Accepted 11.12.2024

Принята к публикации / Revised 20.02.2025