
РАДИОЛОГИЯ И РАДИОБИОЛОГИЯ, РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

RADIOLOGY AND RADIOBIOLOGY, RADIATION SAFETY

УДК 614.876:621.039.58

ОЦЕНКА ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ОТ ЖИДКИХ СБРОСОВ БЕЛОРУССКОЙ АЭС В РЕЖИМЕ НОРМАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Л. Ф. РОЗДЯЛОВСКАЯ¹⁾, Е. В. НИКОЛАЕНКО¹⁾, Д. И. ГУСЕЙНОВА¹⁾, В. В. КЛЯУС¹⁾

¹⁾Научно-практический центр гигиены,
ул. Академическая, 8, 220012, г. Минск, Беларусь

Радиационная безопасность населения от жидких сбросов Белорусской АЭС (далее – БелАЭС) в поверхностные водоемы считается обеспеченной, если обусловленная этими сбросами доза облучения населения не превышает значения граничной дозы (далее – ГД), установленной санитарными нормами и правилами по обеспечению радиационной безопасности – 50 мкЗв/год. При наличии предпосылок к возможности снижения указанного норматива он может быть пересмотрен по решению учреждений государственного санитарного надзора на основании оценок годовых эффективных доз облучения населения (далее – ГЭД) за определенный период эксплуатации АЭС. Цель исследования: рассмотрение правомерности установленного значения норматива ГД путем его сравнительного анализа с расчетными значениями ГЭД населения от проектных и прогнозных фактических жидких сбросов БелАЭС после

Образец цитирования:

Роздяловская ЛФ, Николаенко ЕВ, Гусейнова ДИ, Кляус ВВ. Оценка доз облучения населения от жидких сбросов Белорусской АЭС в режиме нормальной эксплуатации. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2022;4:46–56.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2022-4-46-56>

For citation:

Rozdylouskaya LF, Nikalayenka AU, Huseinava DI, Kliaus VV. Assessment of population exposure dose resulted from liquid discharges of Belarusian NPP in normal operation mode. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2022;4:46–56. Russian.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2022-4-46-56>

Авторы:

Лариса Федоровна Роздяловская – старший научный сотрудник лаборатории радиационной безопасности.
Елена Владимировна Николаенко – кандидат медицинских наук; заведующий лаборатории радиационной безопасности.
Диана Ивановна Гусейнова – специалист лаборатории радиационной безопасности.
Виктория Вячеславовна Кляус – кандидат биологических наук; ведущий научный сотрудник лаборатории радиационной безопасности.

Authors:

Larisa F. Rozdylouskaya, senior researcher at the laboratory of radiation safety.
LRozdylouskaya@gmail.com
Alena U. Nikalayenka, PhD (medicine); head of the laboratory of radiation safety.
zav_radsafety@rspch.by
Dziyana I. Huseinava, specialist at the laboratory of radiation safety.
dianahuseinava@gmail.com
Viktoriya V. Kliaus, PhD (biology); leading researcher at the laboratory of radiation safety.
vkliaus@gmail.com

введения станции в эксплуатацию. В качестве модельных параметров для прогнозных оценок использовались данные о фактических жидких сбросах станций-аналогов БелАЭС с реактором ВВЭР-1200. В исследовании представлены результаты оценки и анализа ГЭД от проектных и прогнозных фактических жидких сбросов БелАЭС по всем путям облучения. Показано, что прогнозные оценки фактических ГЭД населения сопоставимы с проектными ГЭД от сбросов БелАЭС в р. Вилия и составляют не более 22 % от соответствующего норматива ГД. Оставшийся резерв 78 % достаточен, чтобы надежно обеспечить соблюдение норматива ГД облучения населения от жидких радиоактивных сбросов БелАЭС, в том числе после ввода в эксплуатацию второго энергетического блока. Не менее 80 % ГЭД населения от жидких сбросов БелАЭС в р. Вилия будет формироваться за счет внутреннего облучения, в значительной мере от потребления выловленной в реке рыбы. Внешнее облучение населения от жидких сбросов БелАЭС происходит при пребывании на пляже, его вклад в общую ГЭД от сбросов не превышает 20 %. Определен перечень основных дозобразующих радионуклидов и обоснована необходимость обязательного контроля в сбросных водах БелАЭС объемной концентрации радионуклидов ^{131}I , ^{60}Co , ^{58}Co , ^{54}Mn , ^{90}Sr .

Ключевые слова: атомная электростанция; станция-аналог БелАЭС; жидкие сбросы; доза облучения населения; граничная доза.

ASSESSMENT OF POPULATION EXPOSURE DOSE RESULTED FROM LIQUID DISCHARGES OF BELARUSIAN NPP IN NORMAL OPERATION MODE

L. F. ROZDYALOUSKAYA^a, A. U. NIKALAYENKA^a, D. I. HUSEINAVA^a, V. V. KLIAUS^a

^aScientific Practical Centre of Hygiene,

8 Akademičnaja Street, Minsk 220012, Belarus

Corresponding author: L. F. Rozdylouskaya (L.Rozdylouskaya@gmail.com)

Radiation safety of the population from liquid discharges of the Belarusian NPP (hereinafter – BelNPP) into surface water bodies is considered to be ensured if the exposure dose to the population due to the discharges does not exceed the value of the Dose Constraint (hereinafter – DC) established by the sanitary norms and rules for ensuring radiation safety: 50 $\mu\text{Sv}/\text{year}$. If there are prerequisites for the possibility of reducing the specified DC standard, it can be revised by decision of the state sanitary supervision institutions based on estimates of annual effective doses to the population (hereinafter – referred to as YED) for a certain period of NPP operation. The purpose of the study was to consider the rightfulness of the established value of the DC standard by comparing it with the calculated values of the YED of the population from the design and predictive actual liquid discharges of the BelNPP after the commissioning of the plant. As model parameters for predictive estimates, data on actual liquid discharges from NPP – analogues of the BelNPP with a VVER-1200 reactor were used. The article presents the results of the assessment and analysis of the YED from the design and predictive actual liquid discharges of the BelNPP through all exposure pathways. It is shown that the predictive estimates of the actual YED of the population are comparable with the design YED from BelNPP discharges into the Viliya River and do not exceed 22 % of the corresponding DC standard. The remaining reserve of 78 % is sufficient to reliably ensure compliance with the DC standard for public exposure from liquid radioactive discharges of the BelNPP, including after the commissioning of the second power unit. At least 80 % of the YED of the population from liquid discharges of the BelNPP into the Viliya River will be formed due to internal irradiation, to a large extent from the consumption of fish caught in the river. External exposure of the population from liquid discharges of the BelNPP occurs mainly when staying on the beach, its contribution to the total YED from discharges does not exceed 20 %. The list of the main dose-forming radionuclides was determined and the necessity of mandatory control of the volumetric concentration of radionuclides ^{131}I , ^{60}Co , ^{58}Co , ^{54}Mn , ^{90}Sr in waste waters of the BelNPP was substantiated.

Keywords: nuclear power plant; the plant-analog of the BelNPP; liquid discharges; exposure dose to the population; dose constraint.

Введение

Производство энергии существенно влияет на состояние окружающей среды и может отразиться на здоровье населения, проживающего вблизи энергетического объекта. Атомные электростанции (далее – АЭС) не выбрасывают в атмосферу летучей золы или ядовитых газов, как электростанции, работающие на ископаемом топливе, но жидкие радиоактивные сбросы от АЭС в поверхностные водоемы и их газо-аэрозольные выбросы в атмосферу являются постоянным поводом для беспокойства общественности, несмотря на строгие меры, применяемые к их регламентированию и контролю [1].

Радиационная безопасность населения считается обеспеченной, если дозы облучения населения и концентрации радиоактивных веществ в окружающей среде не превышают предельных нормативных

значений, установленных в гигиенических нормативах и санитарных нормах и правилах по радиационной безопасности^{1, 2, 3}. Кроме предела индивидуальной дозы облучения лиц из населения от всех техногенных источников (1 мЗв/год), современная система защиты требует установления оптимизированного норматива граничной дозы (далее – ГД) для каждого отдельного радиационного объекта, что обеспечивает не превышение предела дозы облучения населения от всех источников ионизирующего излучения [2].

В применении к БелАЭС граничная доза для населения – заблаговременно введенное ограничение индивидуальной дозы облучения репрезентативного лица из населения от воздействия радиоактивных выбросов и сбросов АЭС, обеспечивающее базовый уровень защиты и определяющее максимальную индивидуальную годовую эффективную дозу, которую население (репрезентативное лицо) может получить в результате нормальной эксплуатации станции [3].

Значение ГД населения для БелАЭС установлено санитарными нормами и правилами по обеспечению радиационной безопасности: 50 мкЗв/год за счет радиоактивных выбросов в атмосферу и 50 мкЗв/год за счет жидких сбросов в поверхностные водоемы. Это значение может быть пересмотрено по решению учреждений государственного санитарного надзора на основании оценок радиологического воздействия БелАЭС на население при наличии предпосылок к возможности его снижения с учетом анализа годовых эффективных доз облучения населения (ГЭД) за определенный период эксплуатации⁴.

Предварительное рассмотрение установленных нормативов ГД в аспекте их обоснованности и оптимизации проводится на основании анализа ГЭД, рассчитанных по проектным поступлениям радиоактивных веществ в окружающую среду, в сравнении с оценками ГЭД на основе активностей и структуры фактических радиоактивных выбросов и сбросов при нормальной эксплуатации БелАЭС и станций-аналогов БелАЭС [8].

Цель исследования – провести сравнительный анализ установленного норматива ГД и расчетных значений ГЭД населения от проектных и прогнозных фактических жидких сбросов БелАЭС, используя в качестве модельных параметров проектные данные БелАЭС и данные о фактических жидких сбросах станций-аналогов БелАЭС с реактором ВВЭР-1200.

Материалы и методы исследования

Инструментальные методы не позволяют выделить долю дозы облучения населения от нормальной эксплуатации АЭС из общей дозы облучения населения, складывающейся из дозы облучения от АЭС и дозы от техногенного фона, обусловленного радионуклидами глобального и чернобыльского выпадений. Поэтому для оценки доз облучения населения от сбросов при эксплуатации АЭС применяются расчетные методы и математические модели, учитывающие активность радионуклидов в сбросах АЭС в окружающую среду; данные о метеоусловиях площадки, гидрологические характеристики водоема для осуществления сбросов и модельные параметры репрезентативного лица в зоне наблюдения АЭС.

В настоящей работе в качестве исходных параметров для расчета ГЭД населения от жидких сбросов БелАЭС использованы:

- проектные активности радионуклидов в жидких сбросах БелАЭС;
- фактические активности радионуклидов в сбросах станций-аналогов БелАЭС – Ленинградской (ЛАЭС-2) и Нововоронежской АЭС (НВАЭС-2);
- гидрологические характеристики водоема, в который поступают жидкие сбросы от БелАЭС – р. Вилия);
- параметры репрезентативного лица населения, проживающего в зоне наблюдения БелАЭС, полученные в результате опроса населения государственным предприятием НППГ в Островском р-не в 2017–2018 гг.

Фактические данные по активностям сбросов станций-аналогов БелАЭС использованы в расчетах прогнозной оценки ГЭД от ее фактических сбросов, поскольку соответствующие данные для БелАЭС на настоящий момент не наработаны, а указанные станции конструкционно являются полными аналогами.

¹Требования к радиационной безопасности: санитарные нормы и правила: утверждено постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь 28 декабря 2012 г. № 213 // Радиационная гигиена: сборник нормативных документов. Минск: РЦГЭиОЗ, 2013. С. 6–34.

²Гигиенические требования к проектированию и эксплуатации атомных электростанций: санитар. нормы, правила и гигиен. нормативы: утверждено постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь 31 марта 2010 г. № 39. Минск: РЦГЭиОЗ, 2010. 115 с.

³Гигиенический норматив. Критерии оценки радиационного воздействия: утверждено постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь, 28 декабря 2012 г., № 213. Радиационная гигиена: сборник нормативных документов. Минск: РЦГЭиОЗ, 2013. С. 35–167.

⁴О порядке установления и применения граничных доз облучения и референтных уровнях: приказ Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 31.08.2020 № 881.

Оценка ГЭД репрезентативного лица выполнена согласно российской методике^{5, 6}, которая позволяет оценить дозу от каждого радионуклида по всем путям внешнего и внутреннего облучения и предполагает, что расчеты будут соответствовать следующим условиям:

- 1) проживание в ближайшем населенном пункте от точки сброса радиоактивных веществ БелАЭС;
- 2) осуществление хозяйственной деятельности, в том числе рекреационной (лов рыбы, купание и т. д.);
- 3) потребление в пищу рыбы и продуктов питания местного производства из личного подсобного хозяйства;
- 4) потребление растениеводческой продукции, выращенной с учетом полива водой из р. Вилия;
- 5) потребление животноводческой продукции, произведенной с учетом водопоя скота водой из р. Вилия и выпаса скота на пастбищах, расположенных на орошаемых землях;
- 6) использование речной воды в качестве питьевой.

Пути облучения населения определялись в соответствии с международными рекомендациями (МАГАТЭ, НКДАР ООН) на основе анализа водопользования, образа жизни и привычек местного населения в районе расположения АЭС. Учитывались:

- 1) внешнее облучение от пребывания на берегу;
- 2) внутреннее облучение от потребления пресноводной рыбы;
- 3) внешнее облучение от купания;
- 4) внешнее облучение от плавания (рыбалка) на лодке;
- 5) внешнее облучение от пребывания на пляже;
- 6) внешнее облучение от пребывания на орошаемых территориях;
- 7) внутреннее облучение от потребления питьевой воды;
- 8) внутреннее облучение от потребления овощей;
- 9) внутреннее облучение от потребления молока и мяса, загрязненных радионуклидами в результате водопоя скота;
- 10) внутреннее облучение от потребления молока и мяса, загрязненных радионуклидами в результате выпаса скота;
- 11) внутреннее облучение от заглатывания при купании речной воды, загрязненной радионуклидами.

ГЭД облучения от поступающего в реку ^3H рассчитывалась отдельно⁷, учитывая возможные пути внешнего и внутреннего облучения этим радионуклидом (ингаляционный, пероральный, через кожные покровы) без детализации по путям облучения.

Расчеты ГЭД облучения репрезентативного лица проводились для типового участка реки, обеспечивающего соблюдение условий однородности потока, на котором осуществляется водопользование, приводящее к облучению лиц из населения (критический участок), на расстоянии 1500 м от точки сброса.

Для расчетов ГЭД использовались активности радионуклидов в жидких сбросах согласно проектным данным БелАЭС и данным о фактических сбросах ЛАЭС-2 и НВАЭС-2 в 2019 г., представленных в табл. 1. Использование в расчетах фактических активностей сбросов станций-аналогов в сочетании с гидро-метеорологическими условиями площадки БелАЭС и параметрами репрезентативного лица, проживающего в зоне наблюдения БелАЭС, позволяет предположительно рассматривать полученные результаты (расчетные ГЭД) как прогнозные значения ГЭД населения от фактических жидких сбросов БелАЭС.

В связи с тем, что оценка ГЭД населения от сбросов радионуклидов АЭС проводилась с использованием расчетного метода математического моделирования с использованием фактических и проектных данных о величине сброса радионуклидов, оценка неопределенности полученных значений ГЭД не проводилась.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты оценки ГЭД на основе проектных и фактических активностей радионуклидов в сбросах БелАЭС и станций-аналогов БелАЭС представлены в табл. 2. Их анализ, в сравнении с данными по структуре сбросов АЭС в табл. 1, позволяет сделать три важных вывода:

⁵РБ-126-17. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии. Рекомендуемые методы расчета параметров, необходимых для разработки нормативов допустимых сбросов радиоактивных веществ в водные объекты: утверждено приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) 25.07.2017 г. № 281. Москва: Ростехнадзор, 2017. 33 с.

⁶РБ-121-16. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии. Рекомендации к структуре и содержанию технологического регламента эксплуатации блока АЭС с реактором типа ВВЭР: утверждено приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) 14.12.2016 г. № 533. Москва: Ростехнадзор, 2016. 95 с.

⁷РБ-126-17. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии. Рекомендуемые методы расчета параметров, необходимых для разработки нормативов допустимых сбросов радиоактивных веществ в водные объекты: утверждено приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) 25.07.2017 г. № 281. Москва: Ростехнадзор, 2017. 33 с.

1. Более 99 % активности сбросных вод станций-аналогов БелАЭС с реактором ВВЭР-1200 обусловлено присутствием ^3H , попадающего в сбросы из реакторной воды вследствие нарушения герметичности твэлов и стержней регулирования.

2. Годовой проектный сброс БелАЭС в основном сопоставим с фактическими сбросами энергоблоков ЛАЭС-2 и НВАЭС-2, за исключением концентрации ^{90}Sr , активность которого в проектном сбросе БелАЭС на 4–5 порядков ниже, чем фактическая величина активности этого радионуклида в сбросах станций аналогов (табл. 1).

3. Вклад радионуклида ^{90}Sr в общую ГЭД, рассчитанную по фактическим данным сбросов ЛАЭС-2 и НВАЭС-2, составляет около 40 %, а при расчетах ГЭД от проектных сбросов – менее 0,1 % (табл. 2, рис. 1).

Таблица 1

Проектные жидкие радиоактивные сбросы БелАЭС и фактические радиоактивные жидкие сбросы станций-аналогов БелАЭС – ЛАЭС-2 и НВАЭС-2

Table 1

Design liquid radioactive discharges of BelNPP and actual radioactive liquid discharges of BelNPP analogous stations - LNPP-2 and NVNPP-2

Радионуклид	БелАЭС (проект)		ЛАЭС-2(по факту)		НВАЭС-2 (по факту)	
	годовой сброс, Бк/год	% от суммарного сброса	годовой сброс, Бк/год	% от суммарного сброса	годовой сброс, Бк/год	% от суммарного сброса
^3H	$1,10 \times 10^{13}$	99,9	$8,75 \times 10^{12}$	99,9777	$4,8 \times 10^{12}$	99,7954
^{60}Co	$1,99 \times 10^6$	>0,0001	$4,40 \times 10^7$	0,0005	$1,1 \times 10^8$	0,0029
^{131}I	$9,56 \times 10^6$	>0,0001	$5,61 \times 10^7$	0,0006	$7,2 \times 10^7$	0,0015
^{134}Cs	$1,3 \times 10^8$	>0,0001	$2,46 \times 10^7$	0,0003	$7,5 \times 10^7$	0,0016
^{137}Cs	$2,04 \times 10^8$	>0,0001	$2,81 \times 10^7$	0,0003	$8,4 \times 10^7$	0,0017
^{51}Cr	$2,86 \times 10^6$	>0,0001	$1,65 \times 10^8$	0,0019	$6,1 \times 10^8$	0,0127
^{54}Mn	$2,72 \times 10^5$	>0,0001	$6,29 \times 10^7$	0,0007	$9,7 \times 10^7$	0,0020
^{59}Fe	$1,067 \times 10^6$	>0,0001	$4,79 \times 10^7$	0,0005	$1,4 \times 10^8$	0,0029
^{58}Co	$4,05 \times 10^6$	>0,0001	$6,36 \times 10^7$	0,0007	$7,9 \times 10^8$	0,0164
^{65}Zn	$3,073 \times 10^6$	>0,0001	$6,74 \times 10^7$	0,0008	$1,7 \times 10^7$	0,0004
^{89}Sr	$1,353 \times 10^7$	>0,0001	$4,25 \times 10^8$	0,0049	$3,4 \times 10^9$	0,0707
^{90}Sr	$3,830 \times 10^4$	>0,0001	$3,09 \times 10^8$	0,0035	$3,4 \times 10^9$	0,0707
^{95}Zr	$3,073 \times 10^6$	>0,0001	$6,61 \times 10^7$	0,0008	$1,3 \times 10^8$	0,0027
^{103}Ru	—	—	$2,74 \times 10^7$	0,0003	$6,8 \times 10^7$	0,0014
^{106}Ru	—	—	$1,40 \times 10^8$	0,0016	$2,4 \times 10^8$	0,0050
^{141}Ce	—	—	$4,31 \times 10^7$	0,0005	$1,1 \times 10^8$	0,0029
^{144}Ce	$1,7 \times 10^5$	>0,0001	$1,60 \times 10^8$	0,0018	$5,0 \times 10^8$	0,0104
^{95}Nb	$1,472 \times 10^6$	>0,0001	—	—	—	—

Таблица 2

ГЭД населения от проектных и прогнозных фактических сбросов БелАЭС

Table 2

AED of the population from the design and predictive actual discharges of the BelNPP

Радионуклид	Проект		Прогноз на основе данных по ЛАЭС-2		Прогноз на основе данных по НВАЭС-2	
	ГЭД, мкЗв	вклад в ГЭД, %	ГЭД, мкЗв	вклад в ГЭД, %	ГЭД, мкЗв	вклад в ГЭД, %
^3H	1,78	17,9	1,41	37,5	0,78	6,9
^{131}I	$2,10 \times 10^{-2}$	0,2	$1,24 \times 10^{-1}$	3,3	$1,59 \times 10^{-1}$	1,4
^{60}Co	$1,01 \times 10^{-2}$	0,2	$2,24 \times 10^{-1}$	6,0	$5,60 \times 10^{-1}$	5,0
^{58}Co	$2,58 \times 10^{-3}$	<0,01	$4,06 \times 10^{-2}$	1,1	$5,04 \times 10^{-1}$	4,5
^{89}Sr	$1,11 \times 10^{-3}$	<0,01	$3,47 \times 10^{-2}$	0,9	$2,78 \times 10^{-1}$	2,5
^{59}Fe	$8,24 \times 10^{-4}$	<0,01	$3,70 \times 10^{-2}$	1,0	$1,08 \times 10^{-1}$	0,9
^{54}Mn	$5,90 \times 10^{-4}$	<0,01	$1,36 \times 10^{-1}$	3,6	$3,04 \times 10^{-1}$	2,7
^{95}Zr	$1,81 \times 10^{-4}$	<0,01	—	—	$7,66 \times 10^{-3}$	0,1

Окончание табл. 2

Ending table 2

Радионуклид	Проект		Прогноз на основе данных по ЛАЭС-2		Прогноз на основе данных по НВАЭС-2	
	ГЭД, мкЗв	вклад в ГЭД, %	ГЭД, мкЗв	вклад в ГЭД, %	ГЭД, мкЗв	вклад в ГЭД, %
^{90}Sr	$5,13 \times 10^{-5}$	<0,01	$4,14 \times 10^{-1}$	11,0	4,55	40,3
^{95}Nb	$4,94 \times 10^{-5}$	<0,01	—	—	—	—
^{141}Ce	$2,37 \times 10^{-5}$	<0,01	$6,02 \times 10^{-3}$	0,2	$1,54 \times 10^{-2}$	0,1
^{51}Cr	$2,11 \times 10^{-5}$	<0,01	$1,22 \times 10^{-3}$	<0,01	$4,50 \times 10^{-5}$	<0,01
Сумма	9,97	100,0	3,76	100,0	11,3	100,0

В перечень основных дозообразующих радионуклидов, кроме ^3H , в соответствии с расчетами на основе проектных сбросов, входят ^{137}Cs и ^{134}Cs (суммарный вклад в ГЭД более 99 %), в то время как аналогичный перечень, полученный на основе прогнозных данных (сбросы станций-аналогов), содержит ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{131}I , ^{60}Co , ^{58}Co , ^{54}Mn , ^{90}Sr . Из этого следует, что при оценке ГЭД населения от жидких сбросов БелАЭС в р. Виляя необходимо учитывать не менее семи изотопов, а нормирование активности ^{90}Sr , наряду с активностями ^{134}Cs и ^{137}Cs , в сбросах БелАЭС должно быть обязательным.

Расчеты на основании фактических сбросов станций-аналогов показывают, что, если исключить облучение тритием, то не менее 80 % ГЭД репрезентативного лица формируется за счет внутреннего облучения по пероральному пути от поступления в организм радионуклидов ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{131}I , ^{60}Co и ^{90}Sr при потреблении местных продуктов питания. Наибольший вклад в ГЭД от внутреннего облучения вносит потребление рыбы (рис. 2), далее по убывающей идут дозы от потребления воды и потребления мяса (табл. 3–5).

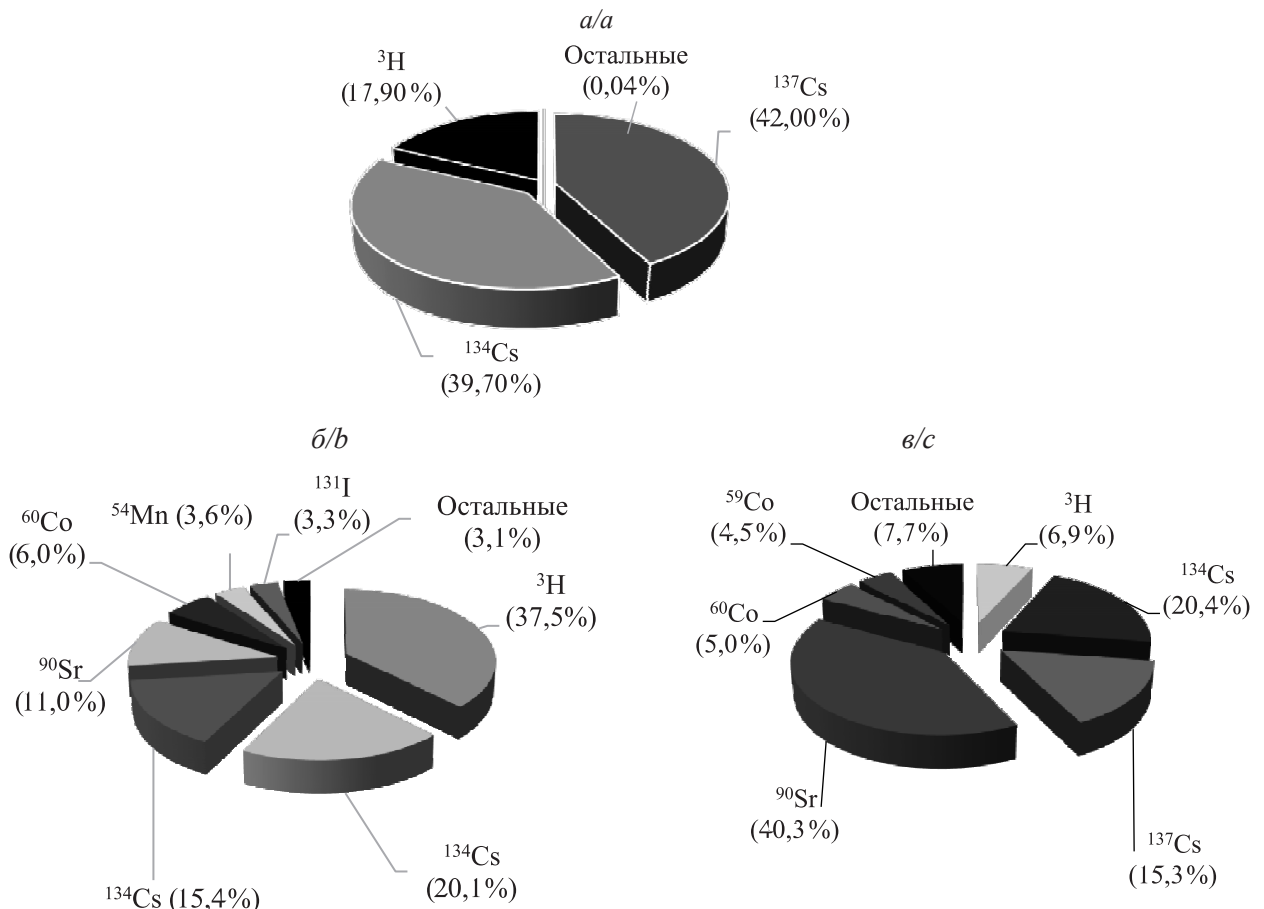


Рис. 1. Вклад отдельных радионуклидов в суммарную ГЭД населения от сбросов БелАЭС при нормальной эксплуатации:
а – ГЭД рассчитаны на основе проектных сбросов БелАЭС; б – ГЭД рассчитаны на основе фактических сбросов ЛАЭС-2;
в – ГЭД рассчитаны на основе фактических сбросов НВАЭС-2

Fig. 1. The contribution of individual radionuclides to the total AED of the population from BelNPP discharges during normal operation: а – AED are calculated based on the design discharges of the BelNPP; б – AED calculated on the basis of actual discharges from LNPP-2; в – AED calculated based on actual discharges from NVNPP-2

Таблица 3

ГЭД населения от сбросов БелАЭС в р. Вилия, рассчитанная на основе проектных сбросов БелАЭС

Table 3

YED of the public from discharges of the BelNPP into the river Viliya, calculated on the basis of the design discharges of the BelNPP

Ра- дио- ну- клид	Внешнее облучение					Внутреннее облучение								суммар- ная доза от внут- реннего облуче- ния	общая суммарная доза
	купание	рыбалка	пребы- вание на пляже	пребы- вание на орошае- мой терри- тории	сум- марная доза от внешнего облуче- ния	потребле- ние рыбы	потребле- ние овощей	потребле- ние мяса (от водо- поя скота)	потребле- ние молока (от водо- козья скота)	потребле- ние мяса (от выпаса скота)	потребле- ние молока (от выпаса скота)	потребле- ние питьевой воды	загла- живание воды при купании	суммар- ная доза от внут- реннего облуче- ния	
¹³⁴ Cs	1,05 × 10 ⁻⁵	3,11 × 10 ⁻⁵	2,14 × 10 ⁻¹	1,81 × 10 ⁻³	2,16 × 10 ⁻¹	3,73	7,14 × 10 ⁻⁴	2,44 × 10 ⁻³	9,87 × 10 ⁻⁴	2,78 × 10 ⁻³	1,03 × 10 ⁻³	1,12 × 10 ⁻²	7,62 × 10 ⁻⁶	3,73	3,95
¹³⁷ Cs	6,28 × 10 ⁻⁶	1,86 × 10 ⁻⁵	1,53 × 10 ⁻¹	1,11 × 10 ⁻²	1,64 × 10 ⁻¹	4,00	1,42 × 10 ⁻³	2,67 × 10 ⁻³	1,06 × 10 ⁻³	6,10 × 10 ⁻³	2,21 × 10 ⁻³	1,20 × 10 ⁻²	8,18 × 10 ⁻⁶	4,01	4,17
⁶⁰ Co	2,70 × 10 ⁻⁷	8,00 × 10 ⁻⁷	8,52 × 10 ⁻³	1,10 × 10 ⁻⁴	8,63 × 10 ⁻³	1,21 × 10 ⁻³	1,77 × 10 ⁻⁵	3,68 × 10 ⁻⁵	1,05 × 10 ⁻⁵	8,37 × 10 ⁻⁵	2,17 × 10 ⁻⁵	1,19 × 10 ⁻⁴	3,86 × 10 ⁻⁷	1,44 × 10 ⁻³	1,00 × 10 ⁻²
⁵⁸ Co	2,06 × 10 ⁻⁷	6,10 × 10 ⁻⁷	2,02 × 10 ⁻³	3,31 × 10 ⁻⁶	2,02 × 10 ⁻³	4,00 × 10 ⁻⁴	5,26 × 10 ⁻⁶	1,01 × 10 ⁻⁵	3,45 × 10 ⁻⁶	7,85 × 10 ⁻⁵	2,44 × 10 ⁻⁵	3,95 × 10 ⁻⁵	1,28 × 10 ⁻⁷	5,56 × 10 ⁻⁴	2,58 × 10 ⁻³
¹³¹ I	1,85 × 10 ⁻⁷	5,49 × 10 ⁻⁷	2,20 × 10 ⁻⁵	3,49 × 10 ⁻⁷	2,24 × 10 ⁻⁵	1,53 × 10 ⁻²	8,36 × 10 ⁻⁷	1,52 × 10 ⁻⁴	3,09 × 10 ⁻⁴	5,17 × 10 ⁻⁴	9,61 × 10 ⁻⁴	3,81 × 10 ⁻³	1,24 × 10 ⁻⁵	2,10 × 10 ⁻²	2,10 × 10 ⁻²
⁸⁹ Sr	3,75 × 10 ⁻⁹	1,11 × 10 ⁻⁸	9,76 × 10 ⁻⁶	5,84 × 10 ⁻⁷	1,61 × 10 ⁻⁶	2,09 × 10 ⁻⁴	6,36 × 10 ⁻⁵	1,81 × 10 ⁻⁵	1,41 × 10 ⁻⁵	1,46 × 10 ⁻⁴	1,03 × 10 ⁻⁴	5,40 × 10 ⁻⁴	1,75 × 10 ⁻⁶	1,09 × 10 ⁻³	1,09 × 10 ⁻³
⁹⁰ Sr	2,00 × 10 ⁻¹¹	5,92 × 10 ⁻¹¹	3,35 × 10 ⁻⁹	5,78 × 10 ⁻⁹	9,21 × 10 ⁻⁹	5,25 × 10 ⁻⁶	1,12 × 10 ⁻⁵	6,02 × 10 ⁻⁷	3,61 × 10 ⁻⁷	1,32 × 10 ⁻⁵	7,15 × 10 ⁻⁶	1,36 × 10 ⁻⁵	2,20 × 10 ⁻⁸	5,08 × 10 ⁻⁵	5,08 × 10 ⁻⁵
⁹⁵ Zr	1,18 × 10 ⁻⁷	3,51 × 10 ⁻⁷	2,39 × 10 ⁻⁵	1,73 × 10 ⁻⁶	2,61 × 10 ⁻⁵	1,12 × 10 ⁻⁴	4,88 × 10 ⁻⁶	1,36 × 10 ⁻⁹	2,00 × 10 ⁻⁹	1,06 × 10 ⁻⁸	1,41 × 10 ⁻⁸	3,82 × 10 ⁻⁵	1,24 × 10 ⁻⁷	1,55 × 10 ⁻⁴	1,81 × 10 ⁻⁴
⁹⁵ Nb	6,66 × 10 ⁻⁸	1,97 × 10 ⁻⁷	6,68 × 10 ⁻⁶	4,69 × 10 ⁻⁷	7,41 × 10 ⁻⁶	3,06 × 10 ⁻⁵	8,40 × 10 ⁻⁷	3,57 × 10 ⁻¹¹	3,62 × 10 ⁻¹⁰	6,89 × 10 ⁻¹⁰	2,42 × 10 ⁻⁹	1,04 × 10 ⁻⁵	3,39 × 10 ⁻⁸	4,18 × 10 ⁻⁵	4,92 × 10 ⁻⁵
¹⁴¹ Ce	6,11 × 10 ⁻¹⁰	1,81 × 10 ⁻⁹	1,52 × 10 ⁻⁵	4,78 × 10 ⁻⁹	1,52 × 10 ⁻⁵	6,41 × 10 ⁻⁶	1,39 × 10 ⁻⁷	1,11 × 10 ⁻⁹	4,98 × 10 ⁻⁹	8,02 × 10 ⁻⁹	3,27 × 10 ⁻⁸	1,92 × 10 ⁻⁶	6,24 × 10 ⁻⁹	8,50 × 10 ⁻⁶	2,37 × 10 ⁻⁵
⁵¹ Cr	4,56 × 10 ⁻⁹	1,35 × 10 ⁻⁸	8,38 × 10 ⁻⁶	2,94 × 10 ⁻⁸	8,44 × 10 ⁻⁶	7,78 × 10 ⁻⁶	8,03 × 10 ⁻⁸	3,55 × 10 ⁻⁷	2,51 × 10 ⁻⁹	2,96 × 10 ⁻⁶	1,92 × 10 ⁻⁸	1,46 × 10 ⁻⁶	4,73 × 10 ⁻⁹	1,26 × 10 ⁻⁵	2,10 × 10 ⁻⁵
⁵⁴ Mn	1,19 × 10 ⁻⁸	3,53 × 10 ⁻⁸	5,26 × 10 ⁻⁴	8,38 × 10 ⁻⁷	5,27 × 10 ⁻⁴	5,98 × 10 ⁻⁵	6,59 × 10 ⁻⁶	5,56 × 10 ⁻⁹	4,93 × 10 ⁻⁹	3,18 × 10 ⁻⁸	2,58 × 10 ⁻⁸	1,87 × 10 ⁻⁶	6,07 × 10 ⁻⁹	6,83 × 10 ⁻⁵	5,95 × 10 ⁻⁴
⁵⁹ Fe	6,88 × 10 ⁻⁸	2,04 × 10 ⁻⁷	4,80 × 10 ⁻⁵	6,53 × 10 ⁻⁷	5,73 × 10 ⁻⁵	6,97 × 10 ⁻⁴	3,30 × 10 ⁻⁶	5,05 × 10 ⁻⁶	8,02 × 10 ⁻⁸	3,86 × 10 ⁻⁵	5,61 × 10 ⁻⁷	3,08 × 10 ⁻⁵	9,98 × 10 ⁻⁸	7,75 × 10 ⁻⁴	6,50 × 10 ⁻⁴
Сум- ма	1,77 × 10 ⁻⁵	5,25 × 10 ⁻⁵	3,77 × 10 ⁻¹	1,3 × 10 ⁻²	3,9 × 10 ⁻¹	7,75	2,24 × 10 ⁻³	5,33 × 10 ⁻³	2,39 × 10 ⁻³	9,76 × 10 ⁻³	4,36 × 10 ⁻³	2,78 × 10 ⁻²	3,08 × 10 ⁻⁵	7,78	8,17

Таблица 4

ГЭД населения от сбросов БелАЭС в р. Вилия, рассчитанная на основе фактических сбросов ЛАЭС-2

Table 4

YED of the public from discharges of the BelNPP into the river Viliya, calculated on the basis of actual discharges from LNPP-2

Радионуклид	Внешнее облучение					Внутреннее облучение									
	купание	рыбалка	пребывание на пляже	пребывание на орошаемой территории	суммарная доза от внешнего облучения	потребление рыбы	потребление овощей	потребление мяса (от водопоя скота)	потребление молока (от водопоя скота)	потребление мяса (от выпаса скота)	потребление молока (от выпаса скота)	потребление питьевой воды	загрязнение воды при купании	суммарная доза от внутреннего облучения	общая суммарная доза
¹³⁴ Cs	$1,99 \times 10^{-6}$	$5,89 \times 10^{-6}$	$4,04 \times 10^{-2}$	$3,42 \times 10^{-3}$	$4,38 \times 10^{-2}$	$7,06 \times 10^{-1}$	$1,35 \times 10^{-4}$	$4,61 \times 10^{-4}$	$1,87 \times 10^{-4}$	$5,27 \times 10^{-4}$	$1,94 \times 10^{-4}$	$2,12 \times 10^{-3}$	$1,44 \times 10^{-6}$	$7,08 \times 10^{-1}$	$7,52 \times 10^{-1}$
¹³⁷ Cs	$8,65 \times 10^{-7}$	$2,65 \times 10^{-6}$	$2,10 \times 10^{-2}$	$1,53 \times 10^{-3}$	$2,25 \times 10^{-2}$	$5,52 \times 10^{-1}$	$1,96 \times 10^{-4}$	$3,67 \times 10^{-4}$	$1,46 \times 10^{-4}$	$8,40 \times 10^{-4}$	$3,04 \times 10^{-4}$	$1,66 \times 10^{-3}$	$1,13 \times 10^{-6}$	$5,54 \times 10^{-1}$	$5,77 \times 10^{-1}$
⁶⁰ Co	$5,97 \times 10^{-6}$	$1,77 \times 10^{-5}$	$1,88 \times 10^{-2}$	$2,44 \times 10^{-3}$	$2,12 \times 10^{-2}$	$2,67 \times 10^{-2}$	$3,92 \times 10^{-4}$	$8,13 \times 10^{-4}$	$2,33 \times 10^{-4}$	$1,85 \times 10^{-3}$	$4,80 \times 10^{-4}$	$2,63 \times 10^{-3}$	$8,55 \times 10^{-6}$	$3,14 \times 10^{-2}$	$5,26 \times 10^{-2}$
¹³¹ I	$1,09 \times 10^{-6}$	$3,22 \times 10^{-6}$	$1,29 \times 10^{-4}$	$2,05 \times 10^{-6}$	$1,35 \times 10^{-4}$	$8,95 \times 10^{-2}$	$4,90 \times 10^{-6}$	$8,90 \times 10^{-4}$	$1,82 \times 10^{-3}$	$3,03 \times 10^{-3}$	$5,64 \times 10^{-3}$	$2,24 \times 10^{-2}$	$7,26 \times 10^{-5}$	$1,22 \times 10^{-1}$	$1,22 \times 10^{-1}$
⁸⁹ Sr	$1,18 \times 10^{-7}$	$3,49 \times 10^{-7}$	$3,07 \times 10^{-4}$	$1,83 \times 10^{-5}$	$3,25 \times 10^{-4}$	$6,56 \times 10^{-3}$	$2,00 \times 10^{-3}$	$5,69 \times 10^{-4}$	$4,42 \times 10^{-4}$	$4,59 \times 10^{-3}$	$3,25 \times 10^{-3}$	$1,70 \times 10^{-2}$	$5,50 \times 10^{-5}$	$3,34 \times 10^{-2}$	$3,37 \times 10^{-2}$
⁹⁰ Sr	$1,61 \times 10^{-7}$	$4,77 \times 10^{-7}$	$2,71 \times 10^{-5}$	$4,66 \times 10^{-5}$	$7,43 \times 10^{-5}$	$4,24 \times 10^{-8}$	$9,00 \times 10^{-2}$	$4,86 \times 10^{-3}$	$2,91 \times 10^{-3}$	$1,06 \times 10^{-1}$	$5,77 \times 10^{-2}$	$1,10 \times 10^{-1}$	$1,78 \times 10^{-4}$	$3,71 \times 10^{-1}$	$3,71 \times 10^{-1}$
⁹⁵ Zr	$2,55 \times 10^{-6}$	$7,54 \times 10^{-6}$	$5,14 \times 10^{-4}$	$3,71 \times 10^{-5}$	$5,61 \times 10^{-4}$	$2,41 \times 10^{-9}$	$1,05 \times 10^{-4}$	$2,93 \times 10^{-8}$	$4,31 \times 10^{-8}$	$2,28 \times 10^{-7}$	$3,04 \times 10^{-7}$	$8,21 \times 10^{-4}$	$2,66 \times 10^{-6}$	$9,29 \times 10^{-4}$	$1,49 \times 10^{-3}$
¹⁴¹ Ce	$1,55 \times 10^{-7}$	$4,59 \times 10^{-7}$	$3,86 \times 10^{-3}$	$1,21 \times 10^{-6}$	$3,86 \times 10^{-3}$	$1,62 \times 10^{-9}$	$3,52 \times 10^{-5}$	$2,82 \times 10^{-7}$	$1,26 \times 10^{-6}$	$2,03 \times 10^{-6}$	$8,30 \times 10^{-6}$	$4,87 \times 10^{-4}$	$1,58 \times 10^{-6}$	$5,35 \times 10^{-4}$	$4,40 \times 10^{-3}$
⁵¹ Cr	$2,63 \times 10^{-7}$	$7,80 \times 10^{-7}$	$4,84 \times 10^{-4}$	$1,70 \times 10^{-6}$	$4,85 \times 10^{-4}$	$4,49 \times 10^{-10}$	$4,63 \times 10^{-6}$	$2,05 \times 10^{-5}$	$1,45 \times 10^{-7}$	$1,71 \times 10^{-4}$	$1,11 \times 10^{-6}$	$8,41 \times 10^{-5}$	$2,73 \times 10^{-7}$	$2,81 \times 10^{-4}$	$7,66 \times 10^{-4}$
⁵⁴ Mn	$2,76 \times 10^{-6}$	$8,17 \times 10^{-6}$	$1,22 \times 10^{-1}$	$1,94 \times 10^{-4}$	$1,22 \times 10^{-1}$	$1,38 \times 10^{-8}$	$1,52 \times 10^{-4}$	$1,29 \times 10^{-6}$	$1,14 \times 10^{-6}$	$7,34 \times 10^{-6}$	$5,96 \times 10^{-6}$	$4,32 \times 10^{-4}$	$1,40 \times 10^{-6}$	$6,01 \times 10^{-4}$	$1,22 \times 10^{-1}$
⁵⁹ Fe	$3,09 \times 10^{-6}$	$9,15 \times 10^{-6}$	$2,16 \times 10^{-3}$	$2,93 \times 10^{-5}$	$2,19 \times 10^{-3}$	$3,13 \times 10^{-8}$	$1,48 \times 10^{-4}$	$2,27 \times 10^{-4}$	$3,60 \times 10^{-6}$	$1,73 \times 10^{-3}$	$2,52 \times 10^{-5}$	$1,38 \times 10^{-3}$	$4,48 \times 10^{-6}$	$3,49 \times 10^{-3}$	$5,68 \times 10^{-3}$
⁵⁹ Co	$3,23 \times 10^{-6}$	$9,58 \times 10^{-6}$	$3,17 \times 10^{-2}$	$5,20 \times 10^{-5}$	$3,17 \times 10^{-2}$	$6,29 \times 10^{-9}$	$8,26 \times 10^{-5}$	$1,58 \times 10^{-4}$	$5,43 \times 10^{-5}$	$1,23 \times 10^{-3}$	$3,83 \times 10^{-4}$	$6,20 \times 10^{-4}$	$2,01 \times 10^{-6}$	$1,53 \times 10^{-3}$	$4,32 \times 10^{-2}$
Сумма	$1,77 \times 10^{-6}$	$4,84 \times 10^{-5}$	$4,11 \times 10^{-1}$	$7,77 \times 10^{-3}$	$4,18 \times 10^{-1}$	1,48	$9,33 \times 10^{-2}$	$8,37 \times 10^{-3}$	$5,79 \times 10^{-3}$	$1,20 \times 10^{-1}$	$9,84 \times 10^{-2}$	$1,57 \times 10^{-1}$	$3,29 \times 10^{-4}$	1,95	2,36

Таблица 5

ГЭД населения от сбросов БелАЭС в р. Вилия, рассчитанная на основе фактических сбросов НВАЭС-2

Table 5

YED of the population from discharges of the BelNPP into the river Viliya, calculated on the basis of actual discharges from NVNPP-2

Радионуклид	Внешнее облучение					Внутреннее облучение										суммарная доза от внутреннего облучения	общая суммарная доза
	купание	рыбалка	пребывание на пляже	пребывание на орошаемой территории	суммарная доза от внешнего облучения	потребление рыбы	потребление овощей	потребление мяса (от водопоя скота)	потребление молока (от водопоя скота)	потребление мяса (от выпаса скота)	потребление молока (от выпаса скота)	потребление питьевой воды	загрязнение воды при купании				
¹³⁴ Cs	6,12 × 10 ⁻⁶	1,81 × 10 ⁻⁵	1,24 × 10 ⁻¹	1,05 × 10 ⁻³	1,25 × 10 ⁻¹	2,17	4,16 × 10 ⁻⁴	1,42 × 10 ⁻³	5,75 × 10 ⁻⁴	1,62 × 10 ⁻³	5,98 × 10 ⁻⁴	6,52 × 10 ⁻³	4,44 × 10 ⁻⁶	2,18	2,20		
¹³⁷ Cs	2,59 × 10 ⁻⁶	7,66 × 10 ⁻⁶	6,28 × 10 ⁻²	4,57 × 10 ⁻³	6,74 × 10 ⁻²	1,65	5,85 × 10 ⁻⁴	1,10 × 10 ⁻³	4,37 × 10 ⁻⁴	2,51 × 10 ⁻³	9,10 × 10 ⁻⁴	4,95 × 10 ⁻³	3,37 × 10 ⁻⁶	1,66	1,73		
⁶⁰ Co	1,49 × 10 ⁻⁵	4,42 × 10 ⁻⁵	4,71 × 10 ⁻¹	6,09 × 10 ⁻³	4,77 × 10 ⁻¹	6,67 × 10 ⁻²	9,80 × 10 ⁻⁴	2,03 × 10 ⁻³	5,82 × 10 ⁻⁴	4,63 × 10 ⁻³	1,20 × 10 ⁻³	6,58 × 10 ⁻³	2,14 × 10 ⁻⁵	8,27 × 10 ⁻²	5,60 × 10 ⁻¹		
¹³¹ I	1,40 × 10 ⁻⁶	4,14 × 10 ⁻⁵	1,65 × 10 ⁻⁴	2,63 × 10 ⁻⁶	1,74 × 10 ⁻⁴	1,15 × 10 ⁻¹	6,29 × 10 ⁻⁶	1,14 × 10 ⁻³	2,33 × 10 ⁻³	3,89 × 10 ⁻³	7,23 × 10 ⁻³	2,87 × 10 ⁻²	9,32 × 10 ⁻⁵	1,58 × 10 ⁻¹	1,58 × 10 ⁻¹		
⁸⁹ Sr	9,43 × 10 ⁻⁷	2,79 × 10 ⁻⁶	2,45 × 10 ⁻³	1,47 × 10 ⁻⁴	2,60 × 10 ⁻³	5,25 × 10 ⁻²	1,60 × 10 ⁻²	4,55 × 10 ⁻²	3,54 × 10 ⁻³	3,68 × 10 ⁻²	2,60 × 10 ⁻²	1,36 × 10 ⁻¹	4,40 × 10 ⁻⁴	2,75 × 10 ⁻¹	2,77 × 10 ⁻¹		
⁹⁰ Sr	1,77 × 10 ⁻⁶	5,25 × 10 ⁻⁶	2,98 × 10 ⁻⁴	5,13 × 10 ⁻⁴	8,18 × 10 ⁻⁴	4,66 × 10 ⁻¹	9,90 × 10 ⁻¹	5,34 × 10 ⁻²	3,20 × 10 ⁻²	1,17	6,35 × 10 ⁻¹	1,21	1,96 × 10 ⁻³	4,55	4,55		
⁹⁵ Zr	5,01 × 10 ⁻⁶	1,48 × 10 ⁻⁵	1,01 × 10 ⁻³	7,30 × 10 ⁻⁵	1,10 × 10 ⁻³	4,73 × 10 ⁻³	2,06 × 10 ⁻⁴	5,77 × 10 ⁻⁸	8,47 × 10 ⁻⁸	4,48 × 10 ⁻⁷	5,99 × 10 ⁻⁷	1,61 × 10 ⁻³	5,24 × 10 ⁻⁶	6,56 × 10 ⁻³	7,66 × 10 ⁻³		
¹⁴¹ Ce	3,95 × 10 ⁻⁷	1,71 × 10 ⁻⁶	9,85 × 10 ⁻³	3,09 × 10 ⁻⁶	9,85 × 10 ⁻³	4,14 × 10 ⁻³	8,98 × 10 ⁻⁵	7,21 × 10 ⁻⁷	3,23 × 10 ⁻⁶	5,19 × 10 ⁻⁶	2,12 × 10 ⁻⁵	1,24 × 10 ⁻³	4,04 × 10 ⁻⁶	5,51 × 10 ⁻³	1,54 × 10 ⁻²		
⁵¹ Cr	9,73 × 10 ⁻⁷	2,88 × 10 ⁻⁶	1,79 × 10 ⁻³	6,28 × 10 ⁻⁶	1,80 × 10 ⁻³	1,66 × 10 ⁻³	1,71 × 10 ⁻⁵	7,56 × 10 ⁻⁵	5,35 × 10 ⁻⁷	6,32 × 10 ⁻⁴	4,10 × 10 ⁻⁶	3,11 × 10 ⁻⁶	1,01 × 10 ⁻⁶	2,70 × 10 ⁻³	4,50 × 10 ⁻³		
⁵⁴ Mn	6,14 × 10 ⁻⁶	1,82 × 10 ⁻⁵	2,71 × 10 ⁻¹	4,31 × 10 ⁻⁴	2,71 × 10 ⁻¹	3,08 × 10 ⁻²	3,39 × 10 ⁻⁴	2,86 × 10 ⁻⁶	2,54 × 10 ⁻⁶	1,63 × 10 ⁻⁵	1,33 × 10 ⁻⁵	9,62 × 10 ⁻⁴	3,12 × 10 ⁻⁶	3,21 × 10 ⁻²	2,03 × 10 ⁻¹		
⁵⁹ Fe	9,02 × 10 ⁻⁶	2,67 × 10 ⁻⁵	6,30 × 10 ⁻³	8,57 × 10 ⁻⁵	6,43 × 10 ⁻³	9,14 × 10 ⁻²	4,33 × 10 ⁻⁴	6,63 × 10 ⁻⁴	1,05 × 10 ⁻⁵	5,06 × 10 ⁻³	7,36 × 10 ⁻⁵	4,03 × 10 ⁻³	1,31 × 10 ⁻⁵	1,02 × 10 ⁻¹	1,08 × 10 ⁻¹		
⁵⁸ Co	4,02 × 10 ⁻⁵	1,19 × 10 ⁻⁴	3,94 × 10 ⁻¹	6,46 × 10 ⁻⁴	3,94 × 10 ⁻¹	7,81 × 10 ⁻²	1,03 × 10 ⁻³	1,97 × 10 ⁻³	6,74 × 10 ⁻⁴	1,53 × 10 ⁻²	4,76 × 10 ⁻³	7,71 × 10 ⁻³	2,50 × 10 ⁻⁵	1,10 × 10 ⁻¹	5,00 × 10 ⁻¹		
Сумма	8,95 × 10 ⁻⁵	2,65 × 10 ⁻⁴	1,34	1,36 × 10 ⁻²	1,36	4,73	1,01	6,64 × 10 ⁻²	4,02 × 10 ⁻²	1,24	6,75 × 10 ⁻¹	1,40	2,57 × 10 ⁻³	9,17	10,53		

Основной вклад в ГЭД от внешнего облучения вносит облучение от пребывания на пляже за счет гамма-излучения изотопов ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{58}Co , ^{60}Co и ^{54}Mn от поверхности воды и присутствия этих изотопов в донных отложениях, а также на берегу в результате загрязнения прибрежной полосы во время разливов (рис. 2).

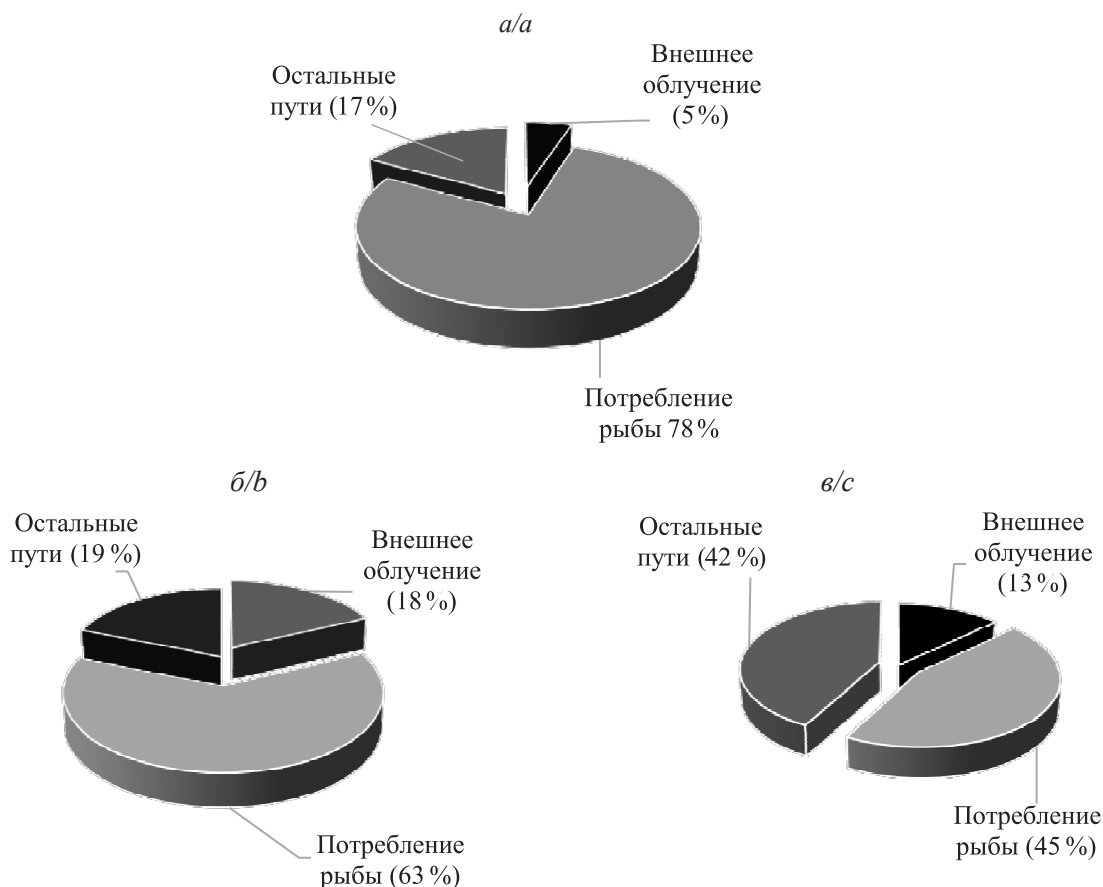


Рис. 2. Вклад различных путей облучения в суммарную ГЭД населения от жидких сбросов БелАЭС: а – ГЭД рассчитаны на основе проектных сбросов энергоблока БелАЭС; б – ГЭД рассчитаны на основе фактических сбросов энергоблока ВВЭР-1200 ЛАЭС-2; в – ГЭД рассчитаны на основе фактических сбросов энергоблока ВВЭР-1200 НВАЭС-2

Fig. 2. Contribution of various exposure pathways to the total public AED from liquid discharges of BelNPP: а – AED calculated on the basis of design discharges of the BelNPP power unit; б – YED calculated on the basis of actual discharges of the VVER-1200 power unit of Leningrad NPP-2; в – AED calculated on the basis of actual discharges of the VVER power unit -1200 NVNPP-2

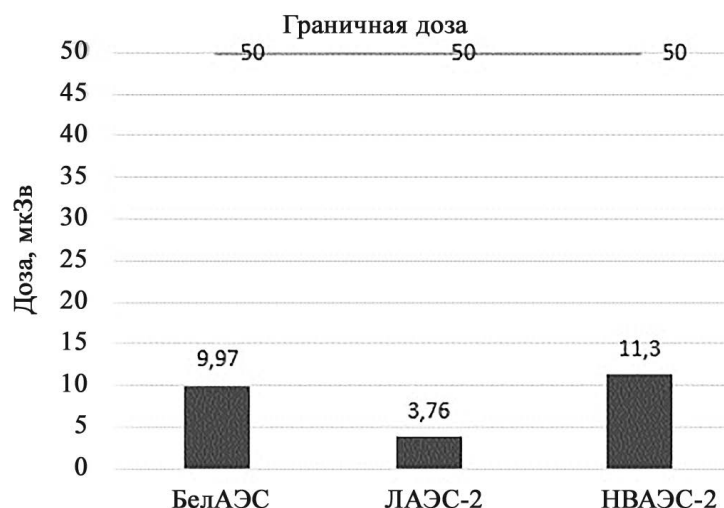


Рис. 3. Сравнение расчетных проектных и прогнозных фактических ГЭД населения при нормальной эксплуатации БелАЭС с нормативным уровнем граничной дозы

Fig. 3. Comparison of calculated design and predicted actual public AED in case of normal operation of the BelNPP with the established level of the dose constraint

Суммарная расчетная ГЭД по всем путям облучения репрезентативного лица от жидких сбросов БелАЭС в р. Вилия, включая дозы от облучения тритием, составила:

- при использовании в расчетах активностей проектных сбросов БелАЭС – 9,97 мкЗв/год;
- при использовании в расчетах активностей фактических сбросов ЛАЭС–2 – 3,76 мкЗв/год;
- при использовании в расчетах активностей фактических сбросов НВАЭС–2 – 11,3 мкЗв/год.

Результаты сопоставимы, и все значения ГЭД значительно ниже установленного норматива граничной дозы (рис. 3). Разность между ГЭД и ГД обеспечивает резерв, характеризующий уровень радиационной безопасности населения от воздействия радиоактивных сбросов БелАЭС в условиях нормальной эксплуатации.

Заключение

В результате выполненных исследований проанализированы дозы облучения населения (репрезентативного лица), прогнозируемые на основе активностей проектных сбросов БелАЭС, в сравнении с прогнозными дозами облучения, рассчитанными на основе фактических сбросов станций-аналогов.

Прогнозные фактические ГЭД населения от сбросов БелАЭС в р. Вилия сопоставимы с проектными и составляют не более 22 % от соответствующего норматива граничной дозы. Оставшийся резерв 78 % достаточен, чтобы обеспечить соблюдение норматива ГД облучения населения от сбросов БелАЭС, в том числе после ввода в эксплуатацию второго энергетического блока.

Не менее 80 % ГЭД населения от жидких сбросов БелАЭС в р. Вилия будет формироваться за счет внутреннего облучения, обусловленного в значительной мере потреблением выловленной в реке рыбы. Внешнее облучение от жидких сбросов происходит при пребывании на пляже, его вклад в общую ГЭД от сбросов не превышает 20 %.

В результате анализа вклада радионуклидов в ГЭД населения от прогнозных фактических сбросов установлена необходимость дополнить перечень основных дозообразующих радионуклидов в жидких сбросах АЭС изотопами ^{131}I , ^{60}Co , ^{58}Co , ^{54}Mn , ^{90}Sr и обеспечить обязательный контроль их содержания в сбросных водах БелАЭС.

Библиографические ссылки

1. Шандала НК, Самойлов АС, Титов АВ, Киселев СМ, Филонова АА и др. Комплексный радиационно-гигиенический мониторинг окружающей среды и здоровья населения в районах размещения АЭС России. В: Орлова МИ, Ежова ЕЕ, редакторы. *Экологическая и радиационная безопасность объектов атомной энергетики*. Калининград: Издательский дом «РОСТ-ДОАФК»; 2017. с. 83–88.
2. Роздяловская ЛФ, Николаенко ЕВ, Сычик СИ. Радиационно-гигиеническое нормирование воздействия радиационных объектов на население и окружающую среду. В: Снежицкий ВА, редактор. *Современные вопросы радиационной и экологической медицины, лучевой диагностики и терапии. Сборник материалов II межвузовской научно-практической интернет-конференции*. Гродно: Гродненский государственный медицинский университет; 2018. с. 178–184.
3. Considerations on the Concept of Dose Constraint. A Report by a Joint Group of Experts from the OECD Nuclear Energy Agency and the European Commission [Internet, cited 25 October 2022]. URL: <https://www.oecd-neo.org/upload/docs/application/pdf/2019-12/dose.pdf>.
4. Микаилова РА, Нуштаева ВЭ, Спиридонов СИ, Карпенко ЕИ, Кречетников ВВ. Оценка и прогнозирование дозы облучения населения в районе размещения АЭС с ВВЭР-1200. *Атомная энергия*. 2019;127(1):47–50.

References

1. Shandala NK, Samoylov AS, Titov AV, Kiselev SM, Filonova AA et al. *Kompleksnyi radiatsionno-gigienicheskii monitoring okruzhayushchei sredy i zdorov'ya naseleniya v raionakh razmeshcheniya AES Rossii*. [Comprehensive radiation hygienic monitoring of the environment and public health in the areas of the Russian NPP]. V: Orlova MI, Ezhova EE, redaktory. *Ekologicheskaya i radiatsionnaya bezopasnost ob'ektov atomnoi energetiki*. Kaliningrad: Izdatelskii dom «ROST-DOAFK»; 2017. p. 83–88. Russian.
2. Rozdyalovskaya LF, Nikolaenko EV, Sychik SI. *Radiatsionno-gigienicheskoe normirovanie vozddeistviya radiatsionnykh ob'ektov na naselenie i okruzhayushchuyu sredu*. [Radiation-hygienic regulation of the impact of radiation objects on the population and the environment]. V: Snezhitskii VA, redaktor. *Sovremennye voprosy radiatsionnoi i ekologicheskoi meditsiny, luchevoi diagnostiki i terapii. Sbornik materialov II mezhvuzovskoi nauchno-prakticheskoi internet-konferentsii*. Grodno: Grodnenskkii gosudarstvennyi meditsinskii universitet; 2018. p. 178–184. Russian.
3. Considerations on the Concept of Dose Constraint. A Report by a Joint Group of Experts from the OECD Nuclear Energy Agency and the European Commission [Internet, cited 2022 October 25]. Available from: <https://www.oecd-neo.org/upload/docs/application/pdf/2019-12/dose.pdf>.
4. Mikailova RA, Nushtaeva VE, Spiridonov SI, Karpenko EI, Krechetnikov VV. *Otsenka i prognozirovaniye dozy oblucheniya naseleniya v raione razmeshcheniya AES s VVER-1200* [Evaluation and prediction of the exposure dose to the population in the area of NPP with VVER-1200]. *Atomnaya energiya*. 2019;127(1):47–50. Russian.

Статья поступила в редакцию 29.08.2022.
Received by editorial board 29.08.2022.