

УДК 504.064.2:544.58:614.876

## К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ СОБЛЮДЕНИЯ КВОТЫ НА ОБЛУЧЕНИЕ НАСЕЛЕНИЯ ОТ ГАЗОАЭРОЗОЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ АЭС

© 2021 г. С. И. Спиридонов<sup>1,\*</sup>, Р. А. Микаилова<sup>1</sup>, В. Э. Нуштаева<sup>1</sup><sup>1</sup> *Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии, Обнинск, Россия**\*E-mail: spiridonov.si@gmail.com*

Поступила в редакцию 23.01.2020 г.

После доработки 22.07.2021 г.

Принята к публикации 01.09.2021 г.

Цель работы заключается в оценке парциальных дозовых нагрузок на население при газоаэрозольных выбросах ядерно-энергетических объектов от радионуклидов, поступающих в различные компоненты окружающей среды. Расчеты выполнены для объектов с перспективными реакторами различного типа – ВВЭР-1200 и БРЕСТ-ОД-300 (с предприятиями пристанционного ЯТЦ). В качестве расчетного “инструмента” использовалось интегрированное программное средство СРОМ, рекомендованное МАГАТЭ. Выполнено ранжирование парциальных дозовых нагрузок, формирующих суммарную дозу от газоаэрозольных выбросов. Показано, что контролируемые радионуклиды в перечне Санитарных правил проектирования и эксплуатации атомных электростанций не являются основными дозообразующими для рассматриваемых объектов. В свою очередь, в Методических указаниях по организации радиоэкологического мониторинга агроэкосистем также не уделяется внимание некоторым радионуклидам, вносящим существенный вклад в дозовую нагрузку. Результаты расчетов, представленные в статье, могут быть использованы при формировании программ мониторинга, нацеленного на оценку соблюдения квот на облучение населения от выбросов новых ядерно-энергетических объектов.

**Ключевые слова:** атомная электростанция, радионуклиды, атмосферные выбросы, парциальная дозовая нагрузка, квота на облучение населения, радиоэкологический мониторинг

**DOI:** 10.31857/S0869803121060114

Стратегическое направление развития ядерной энергетики России – создание замкнутого топливного цикла с быстрыми реакторами [1]. На площадке Сибирского химического комбината строится реактор БРЕСТ-ОД-300 со свинцовым теплоносителем и смешанным нитридным уран-плутониевым топливом. В состав пристанционного ядерного топливного цикла (ПЯТЦ) на этой площадке входят модуль фабрикации/рефабрикации (МП) ядерного топлива и модуль переработки отработавшего топлива (МФ). В рамках другой концепции рассматривается включение в систему с реакторами на тепловых нейтронах (ВВЭР-1200) быстрых реакторов с натриевым теплоносителем – БН-1200.

Необходимым условием функционирования ядерно-энергетических объектов является соблюдение нормативных ограничений по дозовой нагрузке на население. В Санитарных правилах проектирования и эксплуатации атомных электростанций установлены квоты на облучение населения от радиоактивных выбросов и сбросов АЭС [2]. Так, для газоаэрозольных выбросов строящейся или проектируемой АЭС, независи-

мо от количества энергоблоков на промышленной площадке, квота для газоаэрозольных выбросов составляет 50 мкЗв/год. В качестве нижней границы дозы облучения населения в режиме нормальной эксплуатации АЭС принимается значение 10 мкЗв в год.

Оценка соблюдения дозовой квоты выполняется на основе данных о радиоактивных выбросах при эксплуатации ядерно-энергетического объекта. Учет всех основных дозообразующих радионуклидов при расчете суммарной дозовой нагрузки является необходимым условием такой оценки. В нормативном документе [2] допустимые выбросы радиоактивных аэрозолей и газов в атмосферу установлены только для <sup>131</sup>I, <sup>134</sup>Cs, <sup>137</sup>Cs, <sup>60</sup>Co и суммарного количества ИРГ. В выбросах европейских АЭС контролируется большее количество радионуклидов. Максимальное количество контролируемых параметров – в Швеции (93) и Испании (54) [3]. Расчеты дозы облучения населения на основе неполных данных по составу радиоактивных выбросов могут привести к недооценке суммарной дозовой нагрузки [4].

В документе [5] представлен перечень из 15 радионуклидов, для которых устанавливаются нормативы по выбросам. Этот перечень сформирован по результатам оценки вкладов в дозовую нагрузку от газоаэрозольных выбросов реакторов РБМК-1000, ВВЭР-1000 и БН-800 [6]. Согласно данным [6], вклады отдельных радионуклидов для реакторных установок разного типа существенным образом различаются. В этой связи определение основных дозообразующих радионуклидов для новых ядерно-энергетических объектов является важным элементом их радиологического обоснования.

При оценке соблюдения дозовой квоты можно использовать не только данные по выбросам, но и результаты радиологического мониторинга (РЭМ), характеризующие содержание радионуклидов в компонентах окружающей среды (ОС) на прилегающей к АЭС территории. Расчет суммарной дозы облучения населения от “станционных” радионуклидов по данным РЭМ является сложной задачей. Для ее решения необходимо:

– определить содержание естественных и техногенных радионуклидов в объектах ОС при обследовании региона расположения АЭС до начала ее эксплуатации (фоновое обследование);

– учесть в ходе мониторинговых исследований все основные дозообразующие радионуклиды, выбрасываемые АЭС, для полновесной оценки суммарной дозовой нагрузки.

При проведении мониторинговых работ в аграрных экосистемах в районах расположения ядерно-энергетических объектов основное внимание уделяется определению содержания  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ , которые имеют, прежде всего, глобальное, а в некоторых случаях, чернобыльское происхождение. Вклады  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  “станционного” происхождения существенно меньше вкладов других радионуклидов в суммарную дозу облучения населения от выбросов большинства функционирующих в настоящее время российских АЭС [7].

Согласно регламенту радиологического мониторинга агроэкосистем в зоне воздействия АЭС [8] в состав определяемых в почве радионуклидов входят  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{58,60}\text{Co}$ ,  $^{59}\text{Fe}$ ,  $^{95}\text{Zr}$  +  $^{95}\text{Nb}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{134,137}\text{Cs}$ ,  $^{131}\text{I}$ . В то же время для новых ядерно-энергетических объектов значительный вклад в облучение населения могут вносить другие радионуклиды. Так, оценки доз облучения населения от планируемых газоаэрозольных выбросов Опытного демонстрационного энергокомплекса (ОДЭК) с реактором БРЕСТ-ОД-300 показали, что значимыми дозообразующими радионуклидами, кроме продуктов деления, являются  $^{14}\text{C}$ ,  $^3\text{H}$ , изотопы  $\text{Pu}$  и  $^{210}\text{Po}$  [9].

Таким образом, обоснованная проверка соблюдения квоты на облучение населения [2] при

эксплуатации АЭС (ядерно-энергетического объекта) по данным радиоактивных выбросов или РЭМ возможна только при полновесной оценке суммарной дозы [10]. Перечень основных дозообразующих радионуклидов целесообразно формировать для каждого объекта, планируемого к вводу в эксплуатацию. Активности этих радионуклидов в составе фактических выбросов представляют собой входные данные для расчета дозовых нагрузок на население. Если “мониторинг источника” планируется проводить на основе данных РЭМ, целесообразно определить компоненты ОС, в которых накапливаются основные дозообразующие радионуклиды.

Целью работы, результаты которой изложены в настоящей статье, является оценка вкладов отдельных радионуклидов, распределенных по компонентам окружающей среды, в суммарную дозовую нагрузку от газоаэрозольных выбросов перспективных ядерно-энергетических объектов.

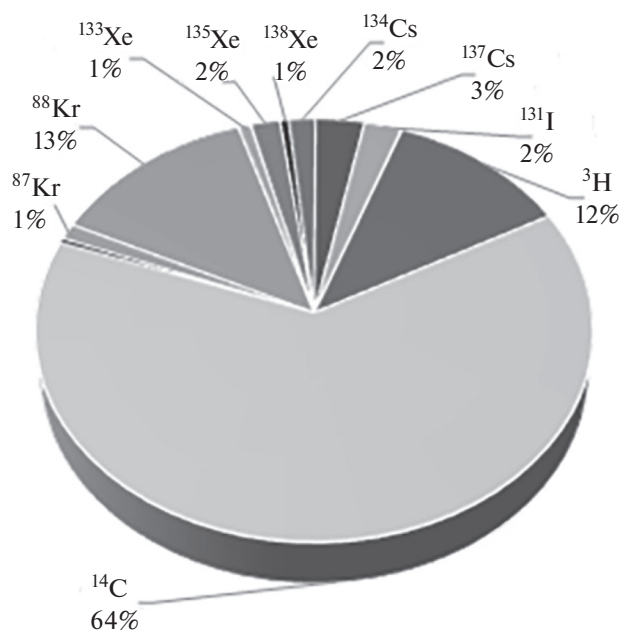
## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Для оценки парциальных дозовых нагрузок на население в системе “компонент ОС–радионуклид” выбраны два ядерно-энергетических объекта, существенно различающихся по своим характеристикам, – ОДЭК с быстрым реактором БРЕСТ-ОД-300 и АЭС с реакторами на тепловых нейтронах ВВЭР-1200. Характеристики газоаэрозольных выбросов ОДЭК приведены в [9], годовые выбросы АЭС с тепловыми реакторами взяты из [11, 12].

Для расчета дозовых нагрузок использовали программный пакет CROM (версия 8.2.5), разработанный на основе моделей, описанных в документе МАГАТЭ [13]. Следует отметить, что эти модели рекомендованы для оценки доз облучения населения от радиоактивных выбросов в атмосферу в документе [14], посвященном разработке программ радиологического мониторинга. Программный пакет CROM рассматривается в качестве справочного кода (reference code) для моделей МАГАТЭ [15].

Дозовые нагрузки от  $^3\text{H}$  и  $^{14}\text{C}$  рассчитывались с использованием моделей, основанных на допущении о равновесии между радионуклидом и его стабильным изотопом во всех компонентах природной среды [13]. Парциальные дозы облучения населения от употребления различных продуктов питания, содержащих эти радионуклиды, определяли согласно долям водорода и углерода в общей массе продукции.

Консервативная оценка дозовых нагрузок осуществлялась в точке, где человек может получить максимальную годовую дозу. С целью сопоставления влияния двух объектов (ОДЭК с БРЕСТ-ОД-300 и АЭС с ВВЭР-1200) на рейтинг парциальных до-



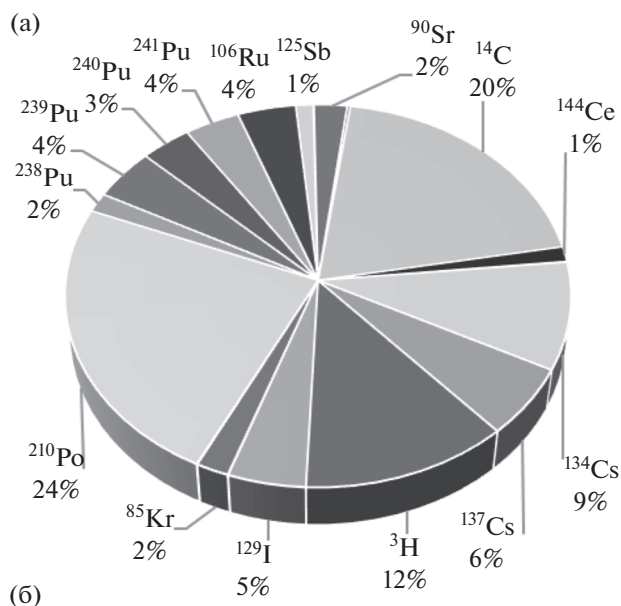
**Рис 1.** Вклад отдельных радионуклидов в суммарную дозу облучения населения от газоаэрозольных выбросов ВВЭР-1200.

**Fig. 1.** Contribution of individual radionuclides to the total radiation dose of the population from VVER-1200 gas aerosol emissions.

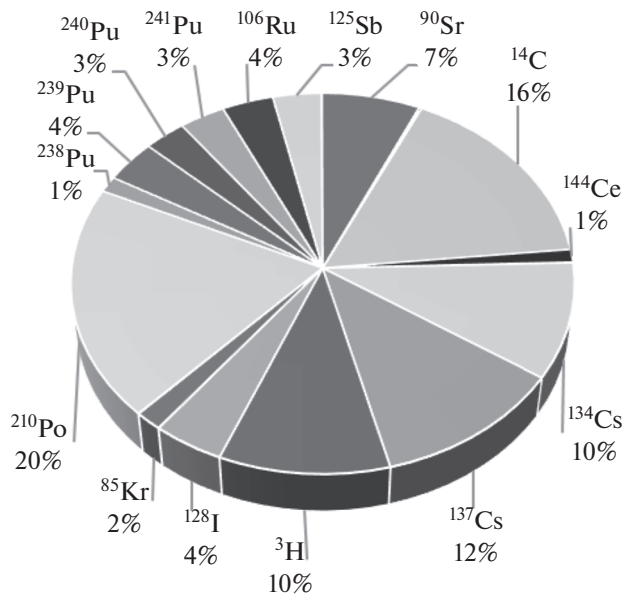
зовых нагрузок радиозоэкологические параметры принимались одинаковыми. В качестве компонентов ОС рассматривали почву (П), воздух (В) и продукты местного производства, употребляемые в пищу населением – растительная продукция (Пр1), мясо с.-х. животных (Пр2) и молоко КРС (Пр3).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам расчета выделены вклады отдельных радионуклидов в дозовую нагрузку на население от газоаэрозольных выбросов рассматриваемых ядерно-энергетических объектов для определения наиболее значимых вкладчиков (рис. 1, 2). При расчетах учитывали 50-летний период работы предприятий. Рейтинг основных дозобразующих радионуклидов для ВВЭР-1200 за указанный период практически не меняется. Наибольший вклад в дозовую нагрузку от выбросов ВВЭР-1200 (~90%) могут вносить:  $^{14}\text{C}$  (64%),  $^{88}\text{Kr}$  (13%) и  $^3\text{H}$  (12%). Следует подчеркнуть, что этот радионуклидный состав существенным образом отличается от списка контролируемых радионуклидов, включающего  $^{131}\text{I}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$  и суммарное количество ИРГ согласно Санитарным правилам [2]. Вклад указанных четырех радионуклидов в суммарную дозу облучения населения не превышает 7%, а с учетом ИРГ – 23%.



(a)



**Рис. 2.** Вклад отдельных радионуклидов в суммарную дозу облучения населения от газоаэрозольных выбросов предприятий ОДЭК на 1-й (а) и 50-й (б) годы работы.

**Fig. 2.** Contribution of individual radionuclides to the total radiation dose of the population from gas-aerosol emissions from the ODEK enterprises for the 1st (a) and 50th (b) years of operation.

Все значимые радионуклиды для ВВЭР-1200 (рис. 1) входят в общий перечень, приведенный в [5, 6], однако наблюдается существенное отличие от списка основных вкладчиков в дозовую нагрузку для ВВЭР-1000 [6].

Анализируя рейтинг основных дозобразующих радионуклидов, выбрасываемых в атмосферу

**Таблица 1.** Ранжирование парциальных дозовых нагрузок, формирующих 95% суммарной дозы от газоаэрозольных выбросов реактора ВВЭР-1200

**Table 1.** Ranking of partial doses forming 95% of the total dose from gas-aerosol emissions from a VVER-1200 reactor

Радионуклид – компонент ОС	Вклад в суммарную дозу, %
<sup>14</sup> C – Пр1	37.9
<sup>14</sup> C – Пр2	14.1
<sup>88</sup> Kr – В	13.4
<sup>14</sup> C – Пр3	12.4
<sup>3</sup> H – Пр2	5.9
<sup>3</sup> H – Пр1	3.3
<sup>3</sup> H – Пр3	2.5
<sup>131</sup> I – Пр3	1.6
<sup>87</sup> Kr – В	1.2
<sup>131</sup> I – Пр2	0.4

реактором БРЕСТ-ОД-300 и предприятиями, входящими в состав ПЯТЦ, можно выделить две особенности. Во-первых, проектный состав радионуклидов, формирующих 95% дозовой нагрузки, существенно шире, по сравнению с ВВЭР-1200. Во-вторых, по истечении 50 лет с начала работы предприятий вклады радионуклидов меняются. Это обусловлено, в частности, накоплением в почве с течением времени <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr.

Наибольший вклад в дозовую нагрузку от предприятий ОДЭК (до 70%) в 1-й год вносят: <sup>210</sup>Po (24%), <sup>14</sup>C (20%), <sup>3</sup>H (12%), <sup>134</sup>Cs (9%) и <sup>137</sup>Cs (6%), в 50-й год – <sup>210</sup>Po (20%), <sup>14</sup>C (16.5%), <sup>137</sup>Cs (12%), <sup>3</sup>H (10%) и <sup>134</sup>Cs (10%). Среди перечисленных радионуклидов <sup>210</sup>Po и <sup>3</sup>H присутствуют только в выбросах реактора БРЕСТ-ОД-300, а <sup>14</sup>C и наибольшее количество изотопов Cs выбрасывается модулем переработки отработавшего топлива (МП). Модуль фабрикации (МФ) является источником выброса изотопов Pu, которые вносят заметный вклад (до 13%) в дозовую нагрузку. Вклад контролируемых радионуклидов, согласно [2] (включая ИРГ), в суммарную дозу облучения населения в 1-й год функционирования ОДЭК составляет 17%, а в 50-й год – 29%.

В рамках более детализированного подхода установлены парциальные дозовые нагрузки на население при газоаэрозольных выбросах ядерно-энергетических объектов от радионуклидов, содержащихся в различных компонентах окружающей среды. В табл. 1–3 представлены результаты ранжирования полученных значений с ис-

**Таблица 2.** Ранжирование парциальных дозовых нагрузок, формирующих 95% суммарной дозы от газоаэрозольных выбросов в 1-й год работы предприятий ОДЭК

**Table 2.** Ranking of partial doses that form 95% of the total dose from gas-aerosol emissions in the 1st year of operation of ODEK enterprises

Радионуклид – компонент ОС	Вклад в суммарную дозу, %
<sup>210</sup> Po – Пр1	15.6
<sup>14</sup> C – Пр1	11.6
<sup>3</sup> H – Пр2	6.2
<sup>210</sup> Po – Пр3	5.9
<sup>14</sup> C – Пр2	4.5
<sup>14</sup> C – Пр3	3.8
<sup>3</sup> H – Пр1	3.4
<sup>134</sup> Cs – Пр2	3.3
<sup>3</sup> H – Пр3, <sup>134</sup> Cs – Пр3, <sup>239</sup> Pu – В	2.5–2.6
<sup>210</sup> Po – Пр2, <sup>137</sup> Cs – Пр2, <sup>241</sup> Pu – В, <sup>106</sup> Ru – Пр2, <sup>134</sup> Cs – Пр1, <sup>240</sup> Pu – В, <sup>85</sup> Kr – В	2.0–2.3
<sup>129</sup> I – Пр2, <sup>239</sup> Pu – Пр1, <sup>137</sup> Cs – Пр3, <sup>241</sup> Pu – Пр1, <sup>106</sup> Ru – Пр1, <sup>137</sup> Cs – Пр1, <sup>129</sup> I – Пр3	1.5–1.9
<sup>240</sup> Pu – Пр1, <sup>129</sup> I – Пр1, <sup>90</sup> Sr – Пр1, <sup>144</sup> Ce – Пр1, <sup>134</sup> Cs – П, <sup>238</sup> Pu – В	1.0–1.4

пользованием приведенных выше обозначений компонентов ОС. В таблицы включены парциальные дозовые нагрузки, формирующие 95% суммарной дозы от выбросов теплового реактора ВВЭР-1200 и быстрого реактора БРЕСТ-ОД-300 вместе с МП и МФ. Следует подчеркнуть, что квоты на облучение населения установлены для строящихся или проектируемых АЭС без указания типа реакторной установки и не зависят от количества энергоблоков на площадке [2]. В этой связи совместно рассматривались и предприятия ПЯТЦ.

Анализ данных табл. 1 показывает, что при мониторинговых работах в регионе расположения реакторов ВВЭР-1200 для оценки дозовой нагрузки от газоаэрозольных выбросов целесообразно сфокусироваться на определении содержания <sup>14</sup>C и <sup>3</sup>H в продуктах питания, производимых в этом регионе. Основную трудность представляет опре-

**Таблица 3.** Ранжирование парциальных дозовых нагрузок, формирующих 95% суммарной дозы от газоаэрозольных выбросов в 50-й год работы предприятий ОДЭК  
**Table 3.** Ranking of partial doses that form 95% of the total dose from gas-aerosol emissions in the 50st year of operation of ODEK enterprises

Радионуклид – компонент ОС	Вклад в суммарную дозу, %
$^{210}\text{Po}$ – Пр1	13.0
$^{14}\text{C}$ – Пр1	9.6
$^3\text{H}$ – Пр2	5.2
$^{210}\text{Po}$ – Пр3	4.9
$^{137}\text{Cs}$ – П	4.7
$^{14}\text{C}$ – Пр2	3.7
$^{14}\text{C}$ – Пр3	3.2
$^{137}\text{Cs}$ – Пр2	3.2
$^{125}\text{Sb}$ – П, $^{134}\text{Cs}$ – Пр2, $^3\text{H}$ – Пр1, $^{90}\text{Sr}$ – Пр3, $^{134}\text{Cs}$ – П	2.6–3.0
$^{137}\text{Cs}$ – Пр3, $^{134}\text{Cs}$ – Пр3, $^{90}\text{Sr}$ – Пр2, $^3\text{H}$ – Пр3, $^{239}\text{Pu}$ – В	2.1–2.4
$^{210}\text{Po}$ – Пр2, $^{241}\text{Pu}$ – В, $^{106}\text{Ru}$ – Пр2, $^{34}\text{Cs}$ – Пр1, $^{90}\text{Sr}$ – Пр1, $^{240}\text{Pu}$ – В, $^{240}\text{Pu}$ – В, $^{85}\text{Kr}$ – В, $^{129}\text{I}$ – Пр2, $^{239}\text{Pu}$ – Пр1	1.5–1.9
$^{137}\text{Cs}$ – Пр1, $^{241}\text{Pu}$ – Пр1, $^{129}\text{I}$ – Пр1, $^{129}\text{I}$ – Пр3, $^{106}\text{Ru}$ – Пр1	1.2–1.4

деление значимого с точки зрения дозообразования  $^{88}\text{Kr}$  в воздухе. Измерение содержания  $^{88}\text{Kr}$  с использованием метода низкотемпературной сорбции ИРГ [16] представляется затруднительным в силу малого периода полураспада этого радионуклида – 2.84 ч. Оценка дозовых нагрузок от радиоактивного облака может быть выполнена расчетным путем с использованием фактических данных о содержании  $^{88}\text{Kr}$  и  $^{87}\text{Kr}$  в газоаэрозольных выбросах.

Парциальные дозы облучения населения от атмосферных выбросов реактора БРЕСТ-ОД-300, МФ и МП, образующих ПЯТЦ, существенным образом отличаются от парциальных дозовых нагрузок для ВВЭР-1200. Наибольший вклад в суммарную дозовую нагрузку вносят дозы внутреннего облучения от  $^{210}\text{Po}$  и  $^{14}\text{C}$ , поступающих в организм человека при употреблении в пищу растительной продукции. С течением времени

вклады некоторых радионуклидов и путей облучения в регионе расположения ОДЭК изменяются. Так, вклад в дозовую нагрузку внешнего облучения от  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{125}\text{Sb}$  и  $^{134}\text{Cs}$ , содержащихся в почве, увеличивается.

Следует отметить, что дозовую нагрузку (95%) от предприятий ОДЭК формирует значительное количество “вкладчиков” – радионуклидов в компонентах ОС (более 30), в отличие от ВВЭР-1200 (10). При оптимизации мониторинговых исследований на территории, прилегающей к ОДЭК, на основе данных табл. 2–3 можно выделить реперные радионуклиды для пробоотбора и измерения. Таким образом, информация, представленная в табл. 1–3, может быть использована при разработке подходов к мониторингу рассматриваемых ядерно-энергетических объектов (“мониторинг источника” [14]).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнены прогностические оценки дозовых нагрузок на население с использованием данных о планируемых газоаэрозольных выбросах АЭС с перспективными реакторами различного типа – ВВЭР-1200 и БРЕСТ-ОД-300 (в комплексе с предприятиями ПЯТЦ). Расчеты проведены на основе программного средства, принятого в качестве справочного кода (reference code) для моделей МАГАТЭ, и подходов, представленных в документе SRS № 19 [13]. Установлено, что радионуклидов, рекомендуемых к контролю в Санитарных правилах проектирования и эксплуатации атомных электростанций [2], недостаточно для оценки соблюдения дозовой квоты, установленной в этом документе. Все основные дозообразующие радионуклиды для ВВЭР-1200 входят в перечень документа [5], однако для БРЕСТ-ОД-300 и предприятий ПЯТЦ можно выделить значимые с точки зрения дозообразования радионуклиды, не представленные в этом перечне.

Для полновесной оценки соблюдения квоты на облучение населения от радиоактивных выбросов АЭС [2] можно опираться на данные, полученные в ходе радиоэкологического мониторинга прилегающей территории. Продемонстрирована значимость агропродукции местного производства, употребляемой в пищу населением, с точки зрения формирования дозовой нагрузки. Необходимо подчеркнуть, что консервативные оценки дозовых нагрузок на население от  $^{14}\text{C}$  и  $^3\text{H}$  выполнены согласно подходу [13]. Для учета доли местных продуктов питания в рационе питания населения следует использовать подход, представленный в публикациях [17, 18].

При оптимальной организации РЭМ важно сочетать экспериментальные и расчетные методы. Если измерение содержания радионуклидов в

компонентах ОС является затруднительным (например, короткоживущих изотопов), оценка дозовых нагрузок может быть выполнена на основе данных по радиоактивным выбросам. Таким образом, результаты исследований, представленные в настоящей статье, могут быть использованы при формировании программ РЭМ, нацеленного на проверку соблюдения дозовых квот для объектов ядерной энергетики.

Следует отметить, что жесткие нормативные значения для дозовых нагрузок установлены с учетом беспороговой концепции действия ионизирующего излучения на человека, принятой в настоящее время. Однако необходимость соблюдения нормативов на облучение населения от ядерно-энергетических объектов требует проведения соответствующих оценок.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (соглашение № 18-19-00016).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Адамов Е.О., Алексахин Р.М., Большов Л.А. и др.* Проект “Прорыв” – технологический фундамент для крупномасштабной ядерной энергетики // Изв. РАН. Энергетика. 2015. № 1. С. 5–12. [*Adamov E.O., Alexakhin R.M., Bolshov L.A. et al.* “Breakthrough” project – technological basement for large-scale nuclear energy // Proc. RAS. Power Eng. 2015. №1. P. 5–12. (In Russian)]
2. Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций (СП АС-03). Санитарные правила и гигиенические нормативы СанПин 2.6.1.24-03. М.: Минздрав России, 2003. 41 с. [*Sanitarnye pravila proektirovaniya i ekspluatatsii atomnykh stantsii (SP AS-03). Sanitarnye pravila i gigenicheskie normativy SanPin 2.6.1.24-03. M.: Minzdrav Rossii, 2003. 41 s. (In Russian)*]
3. *Екидин А.А., Жуковский М.В., Васянович М.Е.* Идентификация основных дозообразующих радионуклидов в выбросах АЭС // Атомная энергия. 2016. Т. 120. Вып. 2. С. 106–108. [*Ekidin A.A., Zhukovskii M.V., Vasyanovich M.E.* Identification of the main dose-forming radionuclides in NPP emissions // Atomic Energy. 2016. V. 120. №2. P. 134–137 (English version)]
4. *Спирidonov С.И., Карпенко Е.И., Шарпан Л.А.* Ранжирование радионуклидов и путей облучения по вкладу в дозовую нагрузку на население, формирующуюся в результате атмосферных выбросов атомных электростанций // Радиационная биология. Радиоэкология. 2013. Т. 53. № 4. С. 401–410. [*Spiridonov S.I., Karpenko E.I., Sharpan L.A.* Ranking of radionuclides and pathways according to their contribution to the dose burden to the population resulting from NPP releases // Radiats. Biol. Radioecol. 2013. V. 53. № 4. P. 401–410. (In Russian)]
5. Разработка и установление нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ атомных станций в атмосферный воздух. Методика. МТ 1.2.2.15.1176-2016. АО “Концерн Росэнергоатом”, 2016. 76 с. [*Razrabotka i ustanovlenie normativov predel'no dopustimyh vybrosov radioaktivnykh veshchestv atomnykh stantsii v atmosfernyi vozduh. Metodika. MT 1.2.2.15.1176-2016. AO “Kontsern Rosenergoatom”, 2016. 76 s. (In Russian)*]
6. Контроль и анализ данных о выбросе радионуклидов АЭС. Отчет № 335/11-16. Екатеринбург: АЭБ “Альфа-Х91”, 2016. 40 с. [*Kontrol' i analiz dannyh o vybrose radionuklidov AES. Otchet № 335/11-16. Ekaterinburg: AEB “Al'fa-X91”, 2016. 40 s. (In Russian)*]
7. *Vasyanovich M., Ekidin A., Vasilyev A. et al.* Determination of radionuclide composition of the Russian NPPs atmospheric releases and dose assessment to population // J. Environ. Radioactiv. 2019. V. 208–209. P. 106006.
8. МУ 13.5.13-00. Организация государственного радиоэкологического мониторинга агроэкосистем в зоне воздействия радиационно-опасных объектов: Методические указания (Утв. Министерством сельского хозяйства РФ 7 августа 2000 г.). М., 2000. 28 с. [*MU 13.5.13-00. Organizatsiya gosudarstvennogo radioekologicheskogo monitoringa agroekosistem v zone vozdeistviya radiatsionno-opasnykh ob'ektov: Metodicheskie ukazaniya (Utv. Ministerstvom sel'skogo hozyaistva RF 7 avgusta 2000 g.). M., 2000. 28 s. (In Russian)*]
9. *Спирин Е.В., Алексахин Р.М., Бажанов А.А.* Структура дозы облучения населения при эксплуатации предприятий опытного демонстрационного энергокомплекса // Атомная энергия. 2018. Т. 124. Вып. 3. С. 169–173. [*Spirin E.V., Alexakhin R.M., Bazhanov A.A.* Structure of the public irradiation dose during operation of experimental-demonstration power complex enterprises // Atomic Energy. 2018. V. 124. № 3. P. 203–209. (English version)]
10. *Спирidonov С.И., Кузнецов В.К., Панов А.В., Титов И.К.* К вопросу об оптимизации радиоэкологического мониторинга в регионах размещения предприятий ядерного топливного цикла // Радиация и риск. 2019. Т. 28. № 4. С. 44–53. [*Spiridonov S.I., Kuznetsov V.K., Panov A.V., Titov I.K.* To the question of optimisation of radioecological monitoring in the vicinity of nuclear fuel cycle enterprises // Radiation and Risk. 2019. V. 28. № 4. P. 44–53. (In Russian)]
11. Материалы оценки воздействия на окружающую среду Ленинградская АЭС-2. LN20. E.110. 077.GZ.0001. СПб.: АО “Атомпроект”, 2015. Т. 2. 414 с. [*Materialy otsenki vozdeistviya na okruzhayushuyu sredu Leningradskaya AES-2. LN20. E.110. 077.GZ.0001. S.-Peterburg: AO “Atomproekt”, 2015. T. 2. 414 s. (In Russian)*]
12. International peer review of the environmental impact assessment performed for the licence application of the Baltic-1 nuclear power plant, Kaliningrad, Russian Federation. Vienna: IAEA, 2017. P. 22.

13. Generic models for use in assessing the impact of discharges of radioactive substances to the environment. Safety Reports Series No. 19. Vienna: IAEA, 2001. 229 p.
14. Programmes and systems for source and environmental radiation monitoring. Safety Reports Series No. 64. Vienna: IAEA, 2010. 232 p.
15. *Stocki T.J., Telleria D.M., Bergman L. et al.* Reference methodologies for radioactive controlled discharges an activity within the IAEA's program environmental modelling for radiation safety II (EMRAS II) // *Radio-prot.* 2011. V. 46. № 6. P. S687–S693.
16. *Дубасов Ю.В., Окунев Н.С.* Содержание радионуклидов  $^{85}\text{Kr}$  и Xe в атмосферном воздухе Северо-Западного региона России в 2006–2008 гг. // *Тр. Радиевого ин-та им. В.Г. Хлопина.* СПб.: ФГУП “НПО “Радиевый институт им. В.Г. Хлопина”, 2011. Т. XV. С. 141–167. [*Dubasov Yu.V., Okunev N.S.* Soderzhanie radionuklidov  $^{85}\text{Kr}$  i Xe v atmosfernom vozduhe Severo-Zapadnogo regiona Rossii v 2006–2008 gg. // *Trudy Radiyevogo instituta im. V.G. Hlopina.* S.-Peterburg: FGUP «NPO “Radiyuyi institut im. V. G. Hlopina”», 2011. T. XV. S. 141–167. (In Russian)]
17. *Крышев А.И., Крышев И.И., Васянович М.Е. и др.* Оценка дозы облучения населения от выброса  $^{14}\text{C}$  АЭС с РБМК-1000 и ЭПГ-6 // *Атомная энергия.* 2020. Т. 128. Вып. 1. С. 46–52. [*Kryshch A.I., Kryshch I.I., Vasyanovich M.E. et al.* Population irradiation dose assessment for  $^{14}\text{C}$  emissions from NPP with RBMK-1000 and EGP-2 reactors // *Atomic Energy.* 2020. V. 128. № 1. P. 53–59. (English version)]
18. *Крышев А.И., Васянович М.Е., Екидин А.А. и др.* Поступление трития в атмосферу с выбросами АЭС с ВВЭР и оценка дозы облучения населения // *Атомная энергия.* 2020. Т. 128. Вып. 6. С. 333–337. [*Kryshch A.I., Vasyanovich M.E., Ekinin A.A. et al.* Tritium entry into the atmosphere with emissions from NPP-VVER and population irradiation dose assessment // *Atomic Energy.* 2020. V. 128. № 6. P. 362–367. (English version)]

## About the Assessment of Radiation Doses for the Population from NPP Atmospheric Releases within the Compliance with the Dose Constraint for a Single Facility

S. I. Spiridonov<sup>a, #</sup>, R. A. Mikailova<sup>a</sup>, and V. E. Nushtaeva<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Russian Research Institute of Radiology and Agroecology, Obninsk, Russia

<sup>#</sup>E-mail: spiridonov.si@gmail.com

The purpose of the research is to estimate the partial radiation doses to the population from radionuclides contained in various environmental components due to gas-aerosol releases of nuclear power facilities. The calculations were carried out for facilities with promising reactors of two different types – VVER-1200 and BREST-OD-300 in the complex with the enterprises of the stationary nuclear fuel cycle. The CROM code recommended by the IAEA was used as an assessment tool. The ranking of partial radiation doses forming the total dose from atmospheric releases was made. It is shown that the controlled radionuclides in the list of Sanitary rules for the design and operation of nuclear power plants are not the main dose-forming radionuclides for the facilities under consideration. The Methodological guidelines for the organisation of radioecological monitoring of agroecosystems in the area of impact of radiation hazardous facilities also do not pay attention to radionuclides, which are significant in terms of dose formation. The results of the calculations presented in the article can be used in the development of radioecological monitoring programmes aimed at assessing of public exposure from atmospheric releases within the compliance with dosimetric constraints (quotas) for the considered nuclear power facilities.

**Keywords:** nuclear power plant, radionuclides, atmospheric emissions, partial dose load, quota for public exposure, radioecological monitoring