DOI: 10.21870/0131-3878-2018-27-2-20-27

УДК 621.311.25:621.039.58:614.876

Долгосрочный прогноз дозовых нагрузок на население при штатных атмосферных выбросах Ленинградской АЭС-2 с помощью программного средства CROM

Карпенко Е.И., Спиридонов С.И., Куртмулаева В.Э.

ФГБНУ ВНИИ радиологии и агроэкологии, Обнинск

Представлены результаты прогнозирования дозовой нагрузки на население по данным проектных выбросов Ленинградской АЭС-2 (ЛАЭС-2) для первого и 30-го года эксплуатации. Расчёты выполнены с помощью современного программного средства CROM, разработанного с учётом информации, представленной в документах МАГАТЭ и Европейской комиссии. Дозовые нагрузки на население оценивали с учётом различных путей поступления радиоактивных веществ в организм человека. Выполнено сравнение полученных результатов с нормативами. Показано, что при эксплуатации ЛАЭС-2 не будут превышены квоты на допустимую дозовую нагрузку на население, формируемую атмосферными выбросами АЭС. Оценен вклад различных путей облучения в суммарную дозу. Установлено, что приоритетным путём облучения является погружение в радиоактивное облако. Отмечены изменения вкладов радионуклидов в суммарную дозу, обусловленные накоплением в почве долгоживущих радионуклидов. Установлено, что суммарная дозовая нагрузка от ^{60}Co и ^{90}Sr через 30 лет функционирования ЛАЭС-2 увеличится на один математический порядок.

Ключевые слова: атомная электростанция, ЛАЭС-2, энергоблок, радионуклиды, выбросы в атмосферу, дозовая нагрузка, население, окружающая среда, облучение.

В северо-западном регионе России расположен ряд предприятий ядерной энергетики. Кроме того, регион подвергся радиоактивным выпадениям в результате аварии на Чернобыльской АЭС. Оценка последствий радиоактивного загрязнения окружающей среды, в том числе в результате строительства новых ядерных объектов, вызывает значительный интерес. Таким образом, проблемы радиационной безопасности населения в рассматриваемом регионе, имеющие научное и практическое значение, приобрели выраженную социально-политическую окраску.

Оценка дозовых нагрузок на человека в районе расположения Ленинградской АЭС-2 (ЛАЭС-2) является неотъемлемым элементом радиоэкологического обоснования строительства и ввода атомной станции в эксплуатацию. Наряду с такими оценками необходимо осуществить долгосрочный прогноз изменения дозовой нагрузки на население для периода планируемого функционирования ЛАЭС-2. Динамику дополнительных доз внешнего и внутреннего облучения можно рассчитать на основе данных о проектных выбросах рассматриваемой атомной станции [1].

Целью настоящей работы является расчёт доз облучения населения в результате выбросов ЛАЭС-2 за первый год работы и через 30 лет эксплуатации атомной станции, а также сопоставление полученных результатов с дозовым нормативом.

Материалы и методика

Объект исследования. Ленинградская АЭС включает в себя четыре энергоблока. Электрическая мощность одного энергоблока – 1000 МВт, тепловая – 3200 МВт. Проектная выработка составляет 28 млрд кВт/ч в год. На собственные нужды станция потребляет около 8% от производимой электроэнергии. Проектный ресурс каждого энергоблока первоначально состав-

Карпенко Е.И.* – зав. лаб., к.б.н.; Спиридонов С.И. – зав. лаб., д.б.н., проф.; Куртмулаева В.Э. – научн. сотр. ФГБНУ ВНИИРАЭ.
*Контакты: 249032, Калужская обл., Обнинск, Киевское шоссе, 109-й км. Тел: +7 (920) 612-19-23; e-mail: karpenko_evgenii@mail.ru.

лял 30 лет, но в результате широкомасштабной модернизации сроки эксплуатации в соответствии с полученными лицензиями Ростехнадзора продлены на 15 лет для каждого из четырёх энергоблоков: 1-го энергоблока – до 2018 г., 2-го энергоблока – до 2020 г., 3-го и 4-го энергоблоков – до 2025 г.

Кроме того, в районе расположения ЛАЭС находятся ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», Ленинградское отделение филиала «Северо-западный территориальный округ» ФГУП «РосРАО» (бывший ЛСК «Радон»), ЗАО «Экомет-С», которые также являются источниками поступления техногенных радионуклидов в окружающую среду.

Методы исследования. В настоящее время международным радиоэкологическим сообществом разрабатываются программные средства для оценки доз облучения биоты и населения. Для экспертной оценки воздействия на население выбросов ЛАЭС-2 при штатной эксплуатации использовано программное средство CROM, созданное на основе подходов, рекомендованных МАГАТЭ. В рамках сценариев, предусмотренных этим программным средством, можно оценить дозы, формируемые в результате выбросов радионуклидов в атмосферу и радиоактивных сбросов в водные объекты (реки, эстуарии, морские береговые воды и озёра или водохранилища). Во всех случаях рассчитывается дисперсия радионуклидов в среде вследствие миграционных процессов. В дальнейшем оцениваются концентрации радионуклидов в компонентах окружающей среды. В итоге выполняется расчёт дозовых нагрузок на критические группы населения с учётом различных путей поступления радиоактивных веществ в организм человека.

Программное средство CROM характеризуется оптимальным уровнем сложности (для решения поставленной задачи) и хорошо проработанным параметрическим обеспечением. Это программное средство разработано с учётом информации, представленной в документе МАГАТЭ SRS № 19 [2], с некоторыми добавлениями, взятыми из документа Европейской комиссии RP-72 [3]. Программный пакет CROM даёт возможность оценить дозу облучения населения с учётом каждого возможного пути поступления радионуклидов в организм человека (рис. 1).

Рис. 1. Схема формирования доз внутреннего и внешнего облучения человека в результате атмосферных выбросов АЭС.

При выполнении расчётов в качестве исходных данных использованы характеристики планируемых выбросов Ленинградской АЭС-2 в режиме нормальной эксплуатации (табл. 1) [4].

Таблица 1

**Годовой выброс радиоактивных газов и аэрозолей со станции при работе
4-х блоков в нормальном режиме (в ГБк/год×4 блока)**

Радионуклиды	Вентиляционная труба	Выше кровли, здание турбины	Суммарное поступление в атмосферу
^3H	$1,56 \cdot 10^4$	$4,8 \cdot 10^0$	$1,56 \cdot 10^4$
^{14}C	$1,2 \cdot 10^3$	-	$1,20 \cdot 10^3$
$^{83\text{m}}\text{Kr}$	$2,7 \cdot 10^3$	$1,13 \cdot 10^2$	$2,81 \cdot 10^3$
$^{85\text{m}}\text{Kr}$	$9,1 \cdot 10^3$	$2,44 \cdot 10^1$	$9,12 \cdot 10^3$
^{85}Kr	$1,4 \cdot 10^3$	$2,64 \cdot 10^{-1}$	$1,40 \cdot 10^3$
^{87}Kr	$5,5 \cdot 10^3$	$2,56 \cdot 10^2$	$5,76 \cdot 10^3$
^{88}Kr	$2,0 \cdot 10^4$	$6,0 \cdot 10^2$	$2,06 \cdot 10^4$
$^{131\text{m}}\text{Xe}$	$1,0 \cdot 10^3$	$6,4 \cdot 10^0$	$1,01 \cdot 10^3$
^{133}Xe	$1,1 \cdot 10^3$	$1,88 \cdot 10^3$	$2,98 \cdot 10^3$
^{135}Xe	$3,0 \cdot 10^4$	$1,32 \cdot 10^3$	$3,13 \cdot 10^4$
^{138}Xe	$1,1 \cdot 10^5$	$1,24 \cdot 10^2$	$1,10 \cdot 10^5$
^{131}I	0,29	$1,24 \cdot 10^{-2}$	$3,02 \cdot 10^{-1}$
^{132}I	0,38	$4,0 \cdot 10^{-2}$	$4,20 \cdot 10^{-1}$
^{133}I	0,55	$3,72 \cdot 10^{-2}$	$5,87 \cdot 10^{-1}$
^{134}I	0,26	$1,12 \cdot 10^{-2}$	$2,71 \cdot 10^{-1}$
^{135}I	0,45	$2,84 \cdot 10^{-2}$	$4,78 \cdot 10^{-1}$
^{51}Cr	$3,15 \cdot 10^{-4}$	$6,0 \cdot 10^{-7}$	$3,16 \cdot 10^{-4}$
^{54}Mn	$1,93 \cdot 10^{-5}$	$4,40 \cdot 10^{-7}$	$1,97 \cdot 10^{-5}$
^{60}Co	$1,24 \cdot 10^{-4}$	$9,6 \cdot 10^{-6}$	$1,34 \cdot 10^{-4}$
^{89}Sr	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$5,6 \cdot 10^{-5}$	$1,36 \cdot 10^{-3}$
^{90}Sr	$2,38 \cdot 10^{-6}$	$1,76 \cdot 10^{-7}$	$2,56 \cdot 10^{-6}$
^{134}Cs	0,08	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$8,40 \cdot 10^{-2}$
^{137}Cs	0,12	$5,2 \cdot 10^{-3}$	$1,25 \cdot 10^{-1}$
ИРГ	$1,84 \cdot 10^5$	$4,32 \cdot 10^3$	$1,88 \cdot 10^5$
^{131}I , ^{132}I , ^{133}I , ^{134}I , ^{135}I в сумме	1,94	$1,29 \cdot 10^{-1}$	2,07
Аэрозоли	0,2	$9,28 \cdot 10^{-3}$	$2,09 \cdot 10^{-1}$
Сумма	$1,84 \cdot 10^5$	$4,32 \cdot 10^3$	$1,88 \cdot 10^5$

Примечание: ИРГ – инертные радиоактивные газы.

Многие программные средства для оценки доз облучения населения и биоты используют консервативный подход на основе рекомендаций МАГАТЭ. Таким образом, значения входных параметров, используемые в расчётах, заданы в программном пакете с целью обеспечения максимальной оценки доз. Для расчётов на основе точечного консервативного подхода, рассматриваемого в качестве методической основы [1], использовались параметры выбросов, представленные в табл. 2.

Таблица 2

Параметры, используемые в расчётах

Параметр	Описание	Значение	Единицы измерения
H	Высота выброса	100	м
H _в	Высота наибольшего здания, находящегося вблизи объекта на пути потока выброса	0	м
U _z	Скорость ветра	4,1	м/с
H _z	Высота измерения скорости ветра	2	м
n	Тип поверхности вблизи объекта	0,39	-
L	Дистанция	7000	м
V _d	Сухое осаждение	500 0 (ИРГ, ^3H и ^{14}C)	м/сут
V _w	Влажное осаждение	500 0 (ИРГ, ^3H и ^{14}C)	м/сут
P _p	Доля времени, в течение которого ветер дует в сторону точки расчёта в секторе «р»	0,25	-

Параметр	Описание	Значение	Единицы измерения
t_d	Длительность выброса	1	год
t_e	Время облучения культуры в вегетационный период	30/60	сут
I_w	Средняя скорость орошения культуры	0,01	м ³ /м ² сут
ρ_e	Эффективная плотность верхнего слоя почвы	130	кг/м ²
t_h	Время, прошедшее между сбором урожая/забоем скота/потреблением продукта	14/0/90	сут
α_1	Фактор перехвата вещества	0,3	м ² /кг
λ_{wi}	Константа скорости снижения активности в растениях	0,05	сут ⁻¹
λ_{si}	Константа скорости снижения активности в почве	0 0,0014 (¹³¹ I) 0,00014 (Sr и Cs)	сут ⁻¹
f	Фактор защиты	1	-

Примечание: ИРГ – инертные радиоактивные газы.

Значения коэффициентов накопления радионуклидов в системе «почва-растение» и коэффициенты перехода радионуклидов в продукцию животноводства представлены в [5].

Результаты и обсуждение

С помощью программного средства CROM выполнены расчёты доз облучения населения, проживающего в непосредственной близости от ЛАЭС-2. Оценены дозовые нагрузки, формируемые по различным путям облучения от каждого радионуклида за год и за 30 лет работы реакторов. Годовые дозы облучения населения, накапливаемые в течение первого года работы ЛАЭС-2 для возрастной группы «старше 17 лет», представлены в табл. 3. Дозовые нагрузки на население для возрастной группы «старше 17 лет» через 30 лет работы ЛАЭС-2 приведены в табл. 4.

Таблица 3

Дозовые нагрузки на население по всем путям облучения, формируемые в результате атмосферных выбросов в течение первого года работы ЛАЭС-2, мкЗв/год

Радионуклиды	Ингаляционный путь	Облучение от облака	Пероральный путь	Облучение от поверхности почвы
³ H	$1,39 \cdot 10^{-3}$	-	-	-
¹⁴ C	$1,48 \cdot 10^{-5}$	$9,08 \cdot 10^{-8}$	-	-
^{83m} Kr	-	$6,58 \cdot 10^{-8}$	-	-
^{85m} Kr	-	$9,74 \cdot 10^{-4}$	-	-
⁸⁵ Kr	-	$3,92 \cdot 10^{-6}$	-	-
⁸⁷ Kr	-	$3,56 \cdot 10^{-3}$	-	-
⁸⁸ Kr	-	$3,75 \cdot 10^{-2}$	-	-
^{131m} Xe	-	$3,01 \cdot 10^{-6}$	-	-
¹³³ Xe	-	$6,19 \cdot 10^{-5}$	-	-
¹³⁵ Xe	-	$5,33 \cdot 10^{-3}$	-	-
¹³⁸ Xe	-	$1,37 \cdot 10^{-1}$	-	-
¹³¹ I	$4,44 \cdot 10^{-6}$	$8,42 \cdot 10^{-8}$	$1,80 \cdot 10^{-3}$	$1,99 \cdot 10^{-5}$
¹³² I	$7,83 \cdot 10^{-8}$	$7,17 \cdot 10^{-7}$	$5,92 \cdot 10^{-7}$	$2,00 \cdot 10^{-6}$
¹³³ I	$1,75 \cdot 10^{-6}$	$2,65 \cdot 10^{-7}$	$1,05 \cdot 10^{-4}$	$7,62 \cdot 10^{-6}$
¹³⁴ I	$2,42 \cdot 10^{-8}$	$5,38 \cdot 10^{-7}$	$5,55 \cdot 10^{-8}$	$5,65 \cdot 10^{-7}$
¹³⁵ I	$3,03 \cdot 10^{-7}$	$6,01 \cdot 10^{-7}$	$6,13 \cdot 10^{-6}$	$5,28 \cdot 10^{-6}$
⁵¹ Cr	$1,25 \cdot 10^{-11}$	$7,25 \cdot 10^{-12}$	$6,85 \cdot 10^{-9}$	$5,91 \cdot 10^{-9}$
⁵⁴ Mn	$3,33 \cdot 10^{-11}$	$1,23 \cdot 10^{-11}$	$2,57 \cdot 10^{-9}$	$6,11 \cdot 10^{-8}$
⁶⁰ Co	$1,38 \cdot 10^{-9}$	$2,56 \cdot 10^{-10}$	$6,54 \cdot 10^{-7}$	$1,64 \cdot 10^{-6}$
⁸⁹ Sr	$2,69 \cdot 10^{-9}$	$9,10 \cdot 10^{-12}$	$1,01 \cdot 10^{-6}$	$1,01 \cdot 10^{-7}$
⁹⁰ Sr	$1,22 \cdot 10^{-10}$	$3,40 \cdot 10^{-15}$	$4,87 \cdot 10^{-8}$	$1,51 \cdot 10^{-9}$
¹³⁴ Cs	$1,10 \cdot 10^{-6}$	$9,68 \cdot 10^{-8}$	$1,93 \cdot 10^{-3}$	$5,90 \cdot 10^{-4}$
¹³⁷ Cs	$1,14 \cdot 10^{-6}$	$5,21 \cdot 10^{-8}$	$2,08 \cdot 10^{-3}$	$3,80 \cdot 10^{-4}$
Итого	$1,42 \cdot 10^{-3}$	$1,85 \cdot 10^{-1}$	$5,92 \cdot 10^{-3}$	$1,10 \cdot 10^{-3}$

Таблица 4

Дозовые нагрузки на население по всем путям облучения, формируемые в результате атмосферных выбросов в течение 30-го года работы ЛАЭС-2, мкЗв/год

Радионуклиды	Ингаляционный путь	Облучение от облака	Пероральный путь	Облучение от поверхности почвы
^3H	$1,39 \cdot 10^{-3}$	-	-	-
^{14}C	$1,48 \cdot 10^{-5}$	$9,08 \cdot 10^{-8}$	-	-
$^{83\text{m}}\text{Kr}$	-	$6,58 \cdot 10^{-8}$	-	-
$^{85\text{m}}\text{Kr}$	-	$9,74 \cdot 10^{-4}$	-	-
^{85}Kr	-	$3,92 \cdot 10^{-6}$	-	-
^{87}Kr	-	$3,56 \cdot 10^{-3}$	-	-
^{88}Kr	-	$3,75 \cdot 10^{-2}$	-	-
$^{131\text{m}}\text{Xe}$	-	$3,01 \cdot 10^{-6}$	-	-
^{133}Xe	-	$6,19 \cdot 10^{-5}$	-	-
^{135}Xe	-	$5,33 \cdot 10^{-3}$	-	-
^{135}Xe	-	$1,37 \cdot 10^{-1}$	-	-
^{131}I	$4,44 \cdot 10^{-6}$	$8,42 \cdot 10^{-8}$	$1,80 \cdot 10^{-3}$	$1,99 \cdot 10^{-5}$
^{132}I	$7,83 \cdot 10^{-8}$	$7,17 \cdot 10^{-7}$	$5,92 \cdot 10^{-7}$	$2,00 \cdot 10^{-6}$
^{133}I	$1,75 \cdot 10^{-6}$	$2,65 \cdot 10^{-7}$	$1,05 \cdot 10^{-4}$	$7,62 \cdot 10^{-6}$
^{134}I	$2,42 \cdot 10^{-8}$	$5,38 \cdot 10^{-7}$	$5,55 \cdot 10^{-8}$	$5,65 \cdot 10^{-7}$
^{135}I	$3,04 \cdot 10^{-7}$	$6,01 \cdot 10^{-7}$	$6,13 \cdot 10^{-6}$	$5,28 \cdot 10^{-6}$
^{51}Cr	$1,25 \cdot 10^{-11}$	$7,25 \cdot 10^{-12}$	$6,85 \cdot 10^{-9}$	$5,91 \cdot 10^{-9}$
^{54}Mn	$3,33 \cdot 10^{-11}$	$1,23 \cdot 10^{-11}$	$2,87 \cdot 10^{-9}$	$1,10 \cdot 10^{-7}$
^{60}Co	$1,38 \cdot 10^{-9}$	$2,56 \cdot 10^{-10}$	$7,85 \cdot 10^{-7}$	$1,30 \cdot 10^{-5}$
^{89}Sr	$2,69 \cdot 10^{-9}$	$9,10 \cdot 10^{-12}$	$1,01 \cdot 10^{-6}$	$1,01 \cdot 10^{-7}$
^{90}Sr	$1,22 \cdot 10^{-10}$	$3,40 \cdot 10^{-15}$	$2,22 \cdot 10^{-7}$	$1,88 \cdot 10^{-8}$
^{134}Cs	$1,10 \cdot 10^{-6}$	$9,68 \cdot 10^{-8}$	$2,22 \cdot 10^{-3}$	$1,84 \cdot 10^{-3}$
^{137}Cs	$1,14 \cdot 10^{-6}$	$5,21 \cdot 10^{-8}$	$3,98 \cdot 10^{-3}$	$4,74 \cdot 10^{-3}$
Итого	$1,42 \cdot 10^{-3}$	$1,85 \cdot 10^{-1}$	$8,12 \cdot 10^{-3}$	$9,28 \cdot 10^{-3}$

Согласно НРБ-99/2009 [6], допустимая эффективная доза дополнительного облучения населения составляет 1 мЗв/год. Однако, в связи с тем, что существуют различные источники ионизирующего излучения в промышленности, введено понятие квот. Квота на допустимую дозовую нагрузку на население, формируемую атмосферными выбросами АЭС, составляет 10 мкЗв/год [7].

Рис. 2. Суммарная доза по всем путям облучения, формируемая в результате атмосферных выбросов в течение 1-го и 30-го года работы ЛАЭС-2, мкЗв/год.

Из рис. 2 видно, что с течением времени происходит накопление долгоживущих радионуклидов в компонентах окружающей среды, в связи с чем через 30 лет функционирования ЛАЭС-2 суммарная доза от таких радионуклидов как ^{60}Co и ^{90}Sr увеличится на один математический порядок.

Согласно расчётам, суммарная доза облучения населения от атмосферных выбросов ЛАЭС-2 значительно меньше допустимой дозовой нагрузки, как в первый год работы ЛАЭС-2 (0,19 мкЗв/год), так и за 30 лет (0,20 мкЗв/год). Таким образом, значительного увеличения суммарной дозовой нагрузки на население с течением времени не происходит.

Расчётным путём был выявлен приоритетный путь облучения населения – облучение от облака, и основной дозообразующий радионуклид – ^{138}Xe [8]. За 30 лет работы реакторов ЛАЭС-2 вклад облучения от облака в суммарную дозу облучения снизится с 95,6% до 92%. Это связано с увеличением вклада долгоживущих радионуклидов, находящихся в почве, во внешнее облучение (от поверхности почвы) и внутреннее облучение по пероральному пути.

Следует подчеркнуть, что международный программный пакет CROM не учитывает в рационе населения потребление грибов, что является значимым путём поступления радионуклидов в организм человека и источником внутреннего облучения.

Различия вкладов отдельных радионуклидов в дозовые нагрузки, формируемые по различным путям облучения, обусловлены физико-химическими свойствами элементов, влияющими на их миграционные особенности, а также характеристиками радиоактивных изотопов. Вклад ^3H значительно преобладает при облучении, обусловленном поступлением радионуклидов в организм человека за счёт дыхания. ИРГ вносят вклад в суммарную дозовую нагрузку только по пути облучения от радиоактивного облака. При облучении от поверхности почвы наибольший вклад вносят ^{134}Cs и ^{137}Cs , а при потреблении продуктов питания – ^{134}Cs , ^{137}Cs и ^{131}I .

Выводы

1. При эксплуатации ЛАЭС-2 не будут превышены квоты на допустимую дозовую нагрузку на население, формируемую атмосферными выбросами АЭС.
2. Накопление долгоживущих радионуклидов в компонентах окружающей среды в течение 30 лет работы ЛАЭС-2 не приведёт к значительному увеличению дозовой нагрузки на человека по сравнению с первым годом эксплуатации этой атомной станции.
3. Более 90% дозовой нагрузки на население будет формироваться за счёт погружения в радиоактивное облако.
4. В зависимости от пути облучения основными дозообразующими радионуклидами являются: ^{138}Xe – при облучении от облака; ^3H – за счёт дыхания; ^{134}Cs и ^{137}Cs – в случае облучения от поверхности почвы; ^{134}Cs , ^{137}Cs и ^{131}I – при потреблении продуктов питания (пероральный путь).
5. Существует необходимость модернизации программного пакета CROM для обеспечения реалистичных практических оценок на территории Российской Федерации. В частности, включить в состав пакета модели, описывающие поступление радионуклидов в организм человека за счёт употребления грибов, поскольку этот путь является значимым при формировании дозы внутреннего облучения.

Литература

1. **Спиридонов 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 АЭС //Радиационная биология. Радиоэкология. 2013. Т. 53, № 4. С. 401-410.
2. Generic models for use in assessing the impact of discharges of radioactive substances to the environment. Safety Reports Series N 19. IAEA, 2001.
3. **Simmonds J.R., Lawson G., Mayall A.** Methodology for assessing the radiological consequences of routine releases of radionuclides to the environment. Report-EUR 15760EN. Radiation Protection 72. Brussels-Luxembourg, 1995.
4. Материалы оценки воздействия на окружающую среду: Ленинградская АЭС-2, энергоблоки № 1 и № 2. Санкт-Петербург: АО «Атомпроект», 2015.
5. Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments. Technical Reports. Series N 472. IAEA, 2010.
6. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарные правила и нормативы СанПин 2.6.1.2523-09. М.: Минздрав России, 2009. 68 с.
7. 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.
8. **Куртмулаева В.Э., Микаилова Р.А., Спиридонов С.И., Карпенко Е.И., Нуштаев С.Н.** Долгосрочный прогноз дозы внешнего облучения населения от штатных атмосферных выбросов Ленинградской АЭС-2: Сборник докладов молодежной конференции с международным участием, 7-8 сентября 2016 г. Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2016. С. 163-166.

Estimated radiation doses to the population from exposure to routine atmospheric releases during long-term operation of the Leningrad NPP-2

Karpenko E.I., Spiridonov S.I., Kurtmulaeva V.E.

Russian Institute of Radiology and Agroecology, Obninsk

The article presents estimating radiation doses to the population from exposure to radioactive materials released into the atmosphere during long-term designed operation of the Leningrad NPP-2 (LNPP-2). The dose assessment was made with data on routine releases from the NPP during the 1st and 30th years of operation. Doses were calculated with contemporary software CROM, developed with account of IAEA and European Commission recommendations. When estimating radiation doses different exposure pathways were considered. Calculated and standard doses were compared. From comparison it followed that during the operation of the LNPP-2 doses from radioactivity released into the atmosphere would not exceed permissible dose limits to the population. Contribution of various exposure pathways to the total dose was estimated. The immersion into the radioactive cloud was established to be the main radiation exposure pathway. During the LNPP-2 operation contribution of radionuclides to total dose to the population would vary because of accumulation of long-lived radionuclides in the soil. According to estimates the total dose from ⁶⁰Co and ⁹⁰Sr will increase by one mathematical degree after 30 years of normal operation of LNPP-2.

Keywords: *nuclear power plant, Leningrad NPP-2, power unit, radionuclides, atmospheric releases, radiation dose, population, environment, radiation exposure.*

References

1. **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. *Radiatsionnaya Biologiya. Radioekologiya – Radiation Biology. Radioecology*, 2013, vol. 53, no. 4, pp. 401-410. (In Russian).
2. Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment. Safety Reports, Series N 19. IAEA, 2001.
3. **Simmonds J.R., Lawson G., Mayall A.** Methodology for assessing the radiological consequences of routine releases of radionuclides to the environment. Report-EUR 15760EN, Radiation Protection 72. Brussels-Luxembourg, 1995.
4. Materials of environmental impact assessments: Leningrad NPP-2 power units N 1 and N 2. St. Petersburg, Atomproekt, 2015. (In Russian).
5. Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments. Technical Report, Series N 472. IAEA, 2010.
6. Radiation safety standards (NRB-99/2009): Sanitary rules and standards, SanPin 2.6.1.2523-09. Moscow, Russian Ministry of Health, 2009. 68 p. (In Russian).
7. Sanitary rules of design and operation of nuclear power plants (SR AS-03): Sanitary rules and safety standards, SanPin 2.6.1.24-03. Moscow, Russian Ministry of Health, 2003. 41 p. (In Russian).
8. **Kurtmulaeva V.E., Mikailova R.A., Spiridonov S.I., Karpenko E.I., Nushtaev S.N.** Long-term forecast of external irradiation dose for population from atmospheric releases of Leningrad NPP-2 during normal operation: a collection of reports of a youth conference with international participation, 7-8 September 2016. Obninsk, RIRAE, 2016. pp. 163-166. (In Russian).