

## ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОГО РИСКА ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ ОТ ВЫБРОСОВ C-14 ПЕРВОЙ В МИРЕ АЭС И СМОЛЕНСКОЙ АЭС

**Б.И. Сынзыныс\*, Тхи Ким Фунг Нгуен\*, О.А. Момот\*,  
Г.В. Лаврентьева\*\***

\* ИАТЭ НИЯУ МИФИ

249040, Калужская обл., г. Обнинск, Студгородок, д. 1

\*\* КФ МГТУ им. Н. Э. Баумана

248000, Калужская область, г. Калуга, ул. Баженова, д. 2



Представлены результаты расчетов годовой дозы внутреннего облучения населения и оценки радиационного риска от излучения радиоактивного углерода C-14 в режиме нормальной эксплуатации Первой в мире АЭС в г. Обнинске и Смоленской АЭС. Расчеты проведены посредством двух методов с учетом ингаляционного и перорального поступления C-14 в организм человека. Дозы внутреннего облучения составляют величины  $5,69 \cdot 10^{-9}$  Зв/г. и  $5,95 \cdot 10^{-9}$  Зв/г. (для Обнинской АЭС),  $3,77 \cdot 10^{-7}$  Зв/г. и  $3,96 \cdot 10^{-7}$  Зв/г. (для Смоленской АЭС), что на порядки меньше минимально значимой дозы (10 мкЗв). Оцененный радиационный риск не превышает граничную величину обобщенного радиационного риска для населения, установленного НРБ-99/2009 ( $1 \cdot 10^{-5}$ ). Определено, что основной вклад в формирование дозы внутреннего облучения и в риск для населения от излучения C-14, наработанного на соответствующей АЭС, вносит инкорпорация радионуклида с продуктами питания местного производства, что подтверждают результаты расчетов двумя методами.

**Ключевые слова:** углерод-14, атомная станция, доза внутреннего облучения, радиационный риск, ингаляция, пищевые продукты.

**Для цитирования:** Сынзыныс Б.И., Нгуен Тхи Ким Фунг, Момот О.А., Лаврентьева Г.В. Оценка радиационного риска для населения от выбросов C-14 Первой в мире АЭС и Смоленской АЭС. // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2023. – № 3. – С. 85-93. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2023.3.07>.

### ВВЕДЕНИЕ

После ввода в эксплуатацию Первой в мире АЭС в Обнинске в 1954 г. при внедрении ядерных технологий безопасность радиационных объектов для населения была первоочередной. Однако на заре развития атомной промышленности нормативная база в области радиационной гигиены не была столь совершенной, что вызывало трудности при оценке безопасности эксплуатации радиационно опасных объектов для населения. В настоящее время создана полноценная нормативная база радиацион-

ной безопасности, разработаны технологии для ее реализации. При этом одним из основных критериев радиационной безопасности является граничная величина – заблаговременно введенное значение индивидуального риска, связанного с облучением от данного источника (граничный риск), которое используется в ситуациях планируемого облучения в качестве одного из параметров для оптимизации защиты и безопасности применительно к данному источнику, а также служит в качестве граничного значения для определения диапазона вариантов в процессе оптимизации [1]. Радиационная безопасность населения от источников потенциального облучения обеспечивается техническими мерами по снижению вероятности событий, вследствие которых может быть превышено граничное значение обобщенного риска ( $1 \cdot 10^{-5}$ ) [2], установленное НРБ-99/2009 [3]. Таким образом, оценка радиационного риска для населения при эксплуатации АЭС позволяет охарактеризовать реализацию принципа оптимизации для обеспечения радиационной защиты населения, проживающего в зоне влияния АЭС.

Накопленные знания позволяют ретроспективно оценить радиационную обстановку в зоне наблюдения Первой в мире АЭС (с реактором АМ-1 – Атом Мирный) в годы ее работы. Для сравнения охарактеризуем радиационную опасность для населения, проживающего в настоящее время в зоне наблюдения Смоленской АЭС с реакторами типа РБМК-1000.

В данной работе объектом сравнения и аргументации безопасности АЭС для населения будет выбрана радиационная опасность от радиоактивного углерода С-14, который нарабатывается на АЭС в ощутимых количествах. Исследования экспертов показывают, что значительная часть дозовой нагрузки на население, проживающего в районе расположения объектов атомной энергетики и промышленности, создается за счет газоаэрозольных выбросов С-14 [4, 5]. Его период полураспада значителен (5730 лет), что способствует накоплению С-14 в окружающей среде, а по некоторым оценкам [6] формирует до 96% дозы облучения населения, проживающего в зоне наблюдения АЭС. Поэтому в последнее время контролю выбросов радиоактивного углерода на АЭС и определению формируемой им дозы облучения стали уделять повышенное внимание.

Целью работы является сравнительная оценка радиационного риска от выбросов радиоактивного углерода для населения г. Обнинска во время эксплуатации Первой в мире АЭС и жителей зоны наблюдения Смоленской АЭС.

### **ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Объектом исследования являются выбросы С-14 Обнинской и Смоленской АЭС. Обнинская АЭС с реактором графитоводного канального типа АМ-1 функционировала с 1954 по 2002 гг. Во время эксплуатации реактора АМ-1 с электрической мощностью 5 МВт и тепловой мощностью 30 МВт наряду с производством электрической и тепловой энергии были организованы выработка изотопной продукции, нейтронно-физические исследования, исследования по физике твердого тела и много других изысканий, в частности, датчиков внутреннего контроля и стержней управления реактивностью [7]. По данным АО «Концерн Росэнергоатом» [8] Смоленская АЭС ежегодно вырабатывает порядка 20 млрд кВт·ч электроэнергии. На АЭС находятся в эксплуатации три энергоблока с уран-графитовыми канальными реакторами РБМК-1000. При этом электрическая мощность реактора №1 Смоленской АЭС в 212 раз больше мощности Первой в мире АЭС.

### **МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Расчеты дозы внутреннего облучения и риска проводились по нескольким методикам для минимизации неопределенностей при оценке риска.

Данные по выбросам С-14, необходимые для расчетов, заимствованы из источников [5, 9]. На всех реакторах выброс происходит только в форме CO<sub>2</sub>. Для Обнинской АЭС выброс составлял 0,5 ГБк/сут, тогда как по данным радиационно-технического обследования ежегодный выброс С-14 и расчетная объемная активность этого нуклида в критических точках местности в районе расположения Смоленской АЭС равны 12,1 ТБк/г и 2,15·10<sup>-2</sup> Бк/м<sup>3</sup> соответственно [5].

Для дальнейших оценок необходимо определить объемную активность С-14 в зоне влияния Обнинской АЭС. Усредненная величина выброса по годам на Обнинской АЭС равна 0,18 ТБк/г.

Предполагается, что объемная активность С-14 в атмосферном воздухе линейно зависит от величины ежегодного выброса радионуклида:

$$\frac{\text{Объемная активность С-14 на Смоленской АЭС}}{\text{Объемная активность С-14 на Обнинской АЭС}} = \frac{\text{Общий выброс С-14 на Смоленской АЭС}}{\text{Общий выброс С-14 на Обнинской АЭС}}$$

Расчетная объемная активность С-14 в зоне влияния Обнинской АЭС принимается равной 3,24·10<sup>-4</sup> Бк/м<sup>3</sup>.

#### Расчет дозы внутреннего облучения населения

Первый метод расчета (метод 1) дозы внутреннего облучения населения в зоне наблюдения АЭС основан на данных работ [5, 10].

Для выполнения расчетов ожидаемой годовой дозы внутреннего облучения и оценки радиационного риска для населения от излучения С-14 был принят ряд допущений.

Годовая доза внутреннего облучения от излучения С-14 рассчитывается в предположении об ингаляционном и пероральном путях облучения человека.

Известно, что действующие методики расчета ожидаемой годовой дозы облучения на основании расчетных объемных активностей радионуклидов в атмосферном воздухе основаны на допущении достижения равновесия удельной активности радионуклида в воздухе и биологической ткани [5]. Чтобы минимизировать ошибки в расчетах, принято допущение о недостижении равновесия содержания радионуклида между атмосферным воздухом и организмом человека. Подобное допущение возможно ввиду того, что население территорий расположения АЭС потребляет минимум (ориентировочно 10%) продукции местного производства [5]. В связи с этим годовая доза внутреннего облучения с учетом ингаляционного и перорального поступлений С-14 в организм рассчитывалась по формуле [5, 11]

$$D_{C-14} = \varepsilon_{\text{инг}} U C_{C-14, \text{в}} + \varepsilon_{\text{п}} \sum a_i R_i C_{C-14, \text{п}, i} \quad (1)$$

где  $\varepsilon_{\text{инг}}$  – коэффициент дозового преобразования при ингаляции С-14, равный 2,0·10<sup>-9</sup> Зв/Бк [11];  $U$  – интенсивность дыхания, равная 8,1·10<sup>3</sup> м<sup>3</sup>/г. [12];  $C_{C-14, \text{в}}$  – объемная активность в воздухе в зоне наблюдения, Бк/м<sup>3</sup>;  $\varepsilon_{\text{п}}$  – коэффициент дозового преобразования при поступлении радионуклида С-14 с пищей, равный 5,8·10<sup>-10</sup> Зв/Бк [11];  $a_i$  – доля  $i$ -го продукта местного производства в рационе населения;  $R_i$  – годовое потребление  $i$ -го продукта населением, кг (учитывались молочные продукты, мясо, картофель);  $C_{C-14, \text{п}, i}$  – удельная активность С-14 в  $i$ -м продукте питания местного производства, Бк/кг.

В большинстве моделей учитывается только атмосферное загрязнение углеродом после газоаэрозольных выбросов. Во время фотосинтеза CO<sub>2</sub> включается в органическое вещество растений. Затем устанавливается равновесие между удельной ак-

тивностью радиоактивного углерода в  $\text{CO}_2$  и С-14 в составе «строящегося» органического материала растений [10]. Основное предположение заключается в том, что перенос малых количеств радионуклида С-14 идентичен переносу атомов С-12. Далее по трофическим цепочкам С-14 переходит в биомассу животных и организм человека. Следует учитывать, что традиционные оценки радиационного воздействия излучения от С-14 на наземные экосистемы носят эмпирический характер, при этом неявно предполагается равновесие С-14 в системе атмосфера-растение или атмосфера-животное.

В связи с вышесказанным содержание С-14 в продуктах растительного происхождения оценивалось по формуле [5, 10]

$$C_{\text{С-14}_\text{п},i} = f_{\text{р},i} C_{\text{С-14}_\text{в}} / C_{\text{С-12}_\text{в}}, \quad (2)$$

где  $f_{\text{р},i}$  – доля углерода в  $i$ -ой продукции растительного происхождения, кгС/кг (в соответствии с [10] принимаются следующие значения: 0,059 – доля углерода в овощах, 0,062 – во фруктах, 0,39 – в зерновых, 0,046 – в картофеле, корнеплодах);  $C_{\text{С-14}_\text{в}}$  – объемная активность С-14 в воздухе в месте проживания, Бк/м<sup>3</sup>;  $C_{\text{С-12}_\text{в}}$  – масса углерода в виде  $\text{CO}_2$  на единицу объема воздуха ( $1,8 \cdot 10^{-4}$  кг/м<sup>3</sup>).

Содержание радиоактивного углерода в продуктах животного происхождения рассчитывается по формуле [5, 10]

$$C_{\text{С-14}_\text{п},i} = f_{\text{ап},i} f_{\text{загр},i} C_{\text{С-14}_\text{в}} / C_{\text{С-12}_\text{в}}, \quad (3)$$

где  $f_{\text{ап},i}$  – доля углерода в  $i$ -ой продукции животного происхождения, кгС/кг (в соответствии с [10] 0,065 – для молока, 0,2 – для мяса);  $f_{\text{загр},i}$  – доля загрязненных кормов для животных, равная единице;  $C_{\text{С-14}_\text{в}}$  – объемная активность С-14 в воздухе зоны производства продукции животного происхождения, Бк/м<sup>3</sup>.

Второй метод оценки (метод 2) дозы облучения, формируемой инкорпорированным в организм человека радионуклидом С-14, основан на публикации МАГАТЭ [13]. При расчетах вводятся следующие допущения:

- а) учитывается только выброс С-14 в атмосферный воздух при эксплуатации АЭС;
- б) поступивший в атмосферу С-14 путем фотосинтеза инкорпорировается в биомассу растений и переходит по пищевым цепочкам в организм человека;
- в) рассчитывается только доза внутреннего облучения человека при пероральном поступлении с продуктами питания (молоко, картофель, мясо).

Эффективная годовая доза от  $\beta$ -излучения С-14, находящегося в пищевых продуктах, вычисляется по формуле

$$E = A f_{\text{с},a} g, \quad (4)$$

где  $E$  – эффективная доза, Зв/г.;  $A$  – удельная активность С-14 (Бк/гС) в продуктах питания местного производства;  $f_{\text{с},a}$  – доля углерода в продуктах питания местного производства (принимается равной единице);  $g$  – коэффициент эффективной дозы (отношение между годовой мощностью дозы (Зв/г.) и концентрацией С-14 на грамм углерода в теле человека), принимается равным  $5,6 \cdot 10^{-5}$  Зв/г. на Бк/гС.

Значение удельной активности С-14 в атмосферном воздухе рассчитывается по формуле

$$A = C_{\text{С-14}_\text{в}} / C, \quad (5)$$

где  $A$  – значение удельной активности С-14, Бк/гС;  $C_{\text{С-14}_\text{в}}$  – объемная активность С-14 в воздухе зоны расположения АЭС, Бк/м<sup>3</sup>;  $C$  – средняя концентрация углерода в атмосферном воздухе, равная 0,18 г/м<sup>3</sup>, что соответствует средней концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере, равной 330 ppm.

Вклад в облучение человека посредством ингаляционного поступления С-14 в организм оценивался аналогично первому методу.

Расчетные удельные активности С-14 в пищевых продуктах составляют 0,12 и 7,76 Бк/кг в молоке, 0,36 и 23,89 Бк/кг в мясе, 0,08 и 5,49 Бк/кг в картофеле для Обнинска и Десногорска соответственно.

### Оценка радиационного риска от излучения С-14

Радиационный риск для населения, проживающего в зоне влияния АЭС, оценивался по рекомендации методики [14]. При этом учитывались и рекомендации [13], где отмечается следующее. Если данные радиационного мониторинга отсутствуют или их не хватает для полноценного описания радиационной обстановки на конкретной местности, то выполняются расчетные оценки недостающей информации при помощи моделей, учитывающих региональные параметры радиационной обстановки.

Согласно классическому определению, величина пожизненного риска прямо пропорциональна эффективной дозе облучения с учетом коэффициента радиационного риска

$$r_i = E_i r_{E,i} \quad (6)$$

где  $r_i$  – индивидуальный пожизненный риск, чел<sup>-1</sup>;  $E_i$  – эффективная доза облучения, Зв;  $r_{E,i}$  – коэффициент пожизненного риска, Зв<sup>-1</sup>.

Оценка риска проводилась с учетом допущений, сформулированных при расчете дозы облучения населения. Коэффициент пожизненного риска определяется при ингаляционном поступлении С-14 в организм человека и с потреблением пищевых продуктов местного производства.

Радиационный риск при ингаляционном поступлении С-14 в организм человека в течение года рассчитывается по формуле [14]

$$r_{E,инг} = r_{инг} U C_{С-14_в} \quad (7)$$

где  $r_{инг}$  – коэффициент радиационного риска при вдыхании углерода С-14, риск/Бк ( $r_{инг} = 1,3 \cdot 10^{-10}$  риск/Бк [14]);  $U$  – интенсивность дыхания, м<sup>3</sup>/г. ( $U = 8,1 \cdot 10^3$  м<sup>3</sup>/г. [14]);  $C_{С-14_в}$  – объемная активность С-14 в атмосферном воздухе, Бк/м<sup>3</sup>.

Радиационный риск от  $\beta$ -облучения С-14 при поступлении в организм с продуктами питания определяется по формуле

$$r_{E,пищ} = r_{пищ} S C_{m,i} R_i B_i \quad (8)$$

где  $r_{пищ}$  – коэффициент радиационного риска при поступлении С-14 с продуктами питания (принимается равным  $7,9 \cdot 10^{-11}$  риск/Бк [14]);  $S$  – удельная активность С-14 в  $i$ -ом продукте питания, Бк/кг;  $R_i$  – годовое потребление  $i$ -го продукта населением, кг/г. (для молока – 300, для мяса – 60, для картофеля – 138 [11]);  $B_i$  – коэффициент, учитывающий потери С-14 при кулинарной обработке  $i$ -го продукта (для молока – 1, для мяса – 0,9, для картофеля – 0,8 [11]).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Оцененная доза внутреннего облучения, полученная взрослым населением от излучения С-14 при поступлении радионуклида в организм человека при ингаляции загрязненного воздуха и с продуктами питания местного производства, представлена в табл. 1.

Основной вклад в формирование дозы внутреннего облучения населения от излучения С-14 вносит поступление радионуклида с продуктами питания, что подтверждают результаты расчетов двумя методами с учетом влияния двух АЭС (см. табл. 1). Расчетные суммарные годовые дозы внутреннего облучения от излучения С-14 составляют величины, на порядки меньшие минимально значимой дозы 10 мкЗв, установленной для режима нормальной эксплуатации АЭС при воздействии выбросов на население [15], и составляют  $5,69 \cdot 10^{-9}$  и  $5,95 \cdot 10^{-9}$  Зв (для Обнинской АЭС),  $3,77 \cdot 10^{-9}$  и  $3,96 \cdot 10^{-9}$  Зв (для Смоленской АЭС). Следует отметить, что больший вклад в форми-

Таблица 1

**Годовая доза облучения от С-14 при выбросах АЭС**

АЭС	Расчетная годовая доза облучения от С-14, Зв (метод 1)		Расчетная годовая доза облучения от С-14, Зв (метод 2)	
	Ингаляционное поступление С-14	Пероральное поступление С-14	Ингаляционное поступление С-14	Пероральное поступление С-14
Обнинская	$1,63 \cdot 10^{-11}$	$5,67 \cdot 10^{-9}$	$1,63 \cdot 10^{-11}$	$5,93 \cdot 10^{-9}$
Смоленская	$1,08 \cdot 10^{-9}$	$3,76 \cdot 10^{-7}$	$1,08 \cdot 10^{-9}$	$3,95 \cdot 10^{-7}$

Таблица 2

**Индивидуальный пожизненный радиационный риск от выбросов С-14 для жителей г. Десногорска и г. Обнинска**

АЭС	Риск, чел <sup>-1</sup>			Суммарный риск (метод 1)	Суммарный риск (метод 2)
	При ингаляции	Для пищевых продуктов			
		(метод 1)	(метод 2)		
Обнинская	$5,55 \cdot 10^{-21}$	$3,50 \cdot 10^{-17}$	$3,65 \cdot 10^{-17}$	$3,50 \cdot 10^{-17}$	$3,65 \cdot 10^{-17}$
Смоленская	$2,45 \cdot 10^{-17}$	$1,54 \cdot 10^{-13}$	$1,61 \cdot 10^{-13}$	$1,54 \cdot 10^{-13}$	$1,61 \cdot 10^{-13}$

рование внутренней дозы облучения вносит пероральное поступление радионуклида в организм человека, что обусловлено превышением расчетных годовых доз облучения на два порядка соответствующих величин при ингаляционном поступлении. При этом в полученных разными методами расчетах принципиальной разницы не наблюдается.

С учетом расчетных значений годовых доз внутреннего облучения проведены оценки индивидуального радиационного риска от выбросов радионуклида С-14 (табл. 2).

Основной риск для лиц из населения пристанционных районов зоны наблюдения от внутреннего β-облучения С-14 формируется за счет потребления пищевых продуктов от местного производства.

При анализе суммарного радиационного риска и риска при инкорпорировании радионуклида посредством продуктов питания или с вдыхаемым воздухом не отмечается превышение величин граничного риска  $1 \cdot 10^{-5}$  [2]. Также обращают на себя внимание очень маленькие величины пожизненных рисков от излучения одного из основных дозообразующих радионуклидов выбросов АЭС.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

На основании полученных расчетных оценок дозовой нагрузки от излучения С-14, поступающего в атмосферный воздух с выбросами АЭС, установлено, что годовая эффективная доза внутреннего облучения населения в режиме нормальной эксплуатации Первой в мире атомной станции в г. Обнинске и Смоленской АЭС существенно ниже минимально значимой дозы 10 мкЗв.

Значение суммарного индивидуального пожизненного риска (от ингаляции и потребления пищевых продуктов, загрязненных С-14) для населения значительно ниже установленной граничной величины обобщенного радиационного риска для населения ( $1 \cdot 10^{-5}$  чел<sup>-1</sup>) [2] на 12 и 8 порядков соответственно для г. Обнинска и г. Десногорска. Таким образом, обеспечение радиационной безопасности населения в зоне наблюдения рассматриваемых АЭС с учетом внутренней дозы облучения от излучения С-14, входящего в состав выбросов, соответствовало принципу оптимизации. Следует отметить, что оценки выполнены с рядом допущений только для радионуклида С-14, поступающего в организм человека ингаляционно и с растительными и животными продуктами местного производства.

**Литература**

1. Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные нормы безопасности. Общие требования безопасности № GSR Part 3. – Вена: МАГАТЭ, 2015. – 520 с.
2. СанПиН 2.6.1.2523–09. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.
3. СП 2.6.1.2612–10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010). Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 83 с.
4. *Германский А.М.* Радиоактивный углерод вблизи ядерных объектов, среда обитания и здоровье человека. / Сайт «Зеленый мир». Электронный ресурс: <http://www.greenworld.org.ru/?q=rao1679> (дата доступа 22.02.2023).
5. *Крышев А.И., Крышев И.И., Васянович М.Е., Екидин А.А., Капустин И.А., Мурашова Е.Л.* Оценка дозы облучения от выброса <sup>14</sup>C АЭС с РБМК-1000 и ЭГП-6. // Атомная энергия. – 2020. – Т. 128. – Вып. 1. – С. 46-52.
6. *Рублевский В.П., Яценко В.Н.* Особенности радиационного и биологического действия <sup>14</sup>C на живые организмы и опасность его накопления в биосфере Земли. // Атомная энергия. – 2018. – Т. 125. – Вып. 5. – С. 301-306.
7. Первая в мире АЭС. Электронный ресурс: <https://www.ippe.ru/history/1aes> (дата доступа 31.05.2023).
8. Сайт Смоленской АЭС. Электронный ресурс: [https://rosenergoatom.ru/stations\\_projects/sayt-smolenskoy-aes/#](https://rosenergoatom.ru/stations_projects/sayt-smolenskoy-aes/#) (дата доступа 31.05.2023).
9. *Рублевский В.П., Яценко В.Н.* Энергетические ядерные реакторы как источники <sup>14</sup>C. // Атомная энергия. – 2016. – Т. 121. – Вып. 2. – С. 113-118.
10. *Garnier-Laplace J. and Roussel-Debet S.* Carbon-14 and the environment. Radionuclide Fact Sheet. – IRSN. Institut de Radioprotection et de Surete Nucleaire. France, 2010. – 19 p.
11. Initial Radiological Assessment Methodology – Part 2. Methods and Input Data. Science Report: SC030162/SR2. – Bristol, Environment Agency, 2006. – 236 p.
12. МУ 2.6.5.010-2016. 2.6.5. Атомная энергетика и промышленность. Обоснование границ и условия эксплуатации санитарно-защитных зон и зон наблюдения радиационных объектов. / Методические указания (утв. ФМБА России 22.04.2016). – М.: ФМБА России, 2016.
13. Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 2001. – 216 p.
14. Р 52.18.787-2013. Методика оценки радиационных рисков на основе данных мониторинга радиационной обстановки. – Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2014. – 116 с.
15. СанПиН 2.6.1.24-03. 2.6.1. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций (СП АС-03). Санитарные правила и гигиенические нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2003.

Поступила в редакцию 24.02.2023

**Авторы**Сынзыныс Борис Иванович, профессор, доктор биологических наук,E-mail: [synzynys@obninsk.ru](mailto:synzynys@obninsk.ru)Нгуен Тхи Ким Фунг, студенткаE-mail: [nguentkhifung@oiate.ru](mailto:nguentkhifung@oiate.ru)Момот Ольга Александровна, доцент, кандидат биологических наук,E-mail: [momotulya@gmail.com](mailto:momotulya@gmail.com)Лаврентьева Галина Владимировна, зав. кафедрой, доктор биологических наук,E-mail: [Lavrentyeva\\_g@list.ru](mailto:Lavrentyeva_g@list.ru)

## Radiation Risk Assessment For The Population From C-14 Emissions Of The World's First NPP and Smolensk NPP

Synzynys B.I.\* , Nguyen Thi Kim Phung\* , Momot O.A.\* , Lavrentyeva G.V.\*\*

\* IATE MEFhI

Studgorodok 1, Obninsk, Kaluga region, 249040, Russia

\*\*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University

Bazhenova str. 2., Kaluga, Kaluga region, 248000, Russia

### ABSTRACT

The results of the internal radiation dose calculations for the population and the assessment of the radiation risk from radioactive carbon C-14 during the normal operation of the World's First Nuclear Power Plant in Obninsk and Smolensk NPP are presented. Calculations were carried out using two methods, taking into account the inhalation and oral intake of C-14 with food into the human body. Radiation doses are  $5.69 \cdot 10^{-9}$  Sv/year and  $5.95 \cdot 10^{-9}$  Sv/year (for Obninsk NPP),  $3.77 \cdot 10^{-7}$  Sv/year and  $3.96 \cdot 10^{-7}$  Sv/year (for Smolensk NPP), which is orders of magnitude less than the established minimum significant dose ( $10 \mu\text{Sv}$ ). The assessed levels of radiation risk for the population does not exceed risk established by NRB-99/2009 ( $1 \cdot 10^{-5}$ ). It was found that the main contribution to the formation of the dose and risk of internal radiation of the population from C-14 radiation, released by the respective NPP, is the incorporation of radionuclide with locally produced food products, which is confirmed by the results of calculations using two methods, taking into account the influence of two nuclear power plants.

**Key words:** carbon-14, nuclear power plant, internal radiation dose, radiation risk, inhalation, food consumption.

**For citation:** Synzynys B.I., Nguyen Thi Kim Phung, Momot O.A., Lavrentyeva G.V. Radiation risk assessment for the population from C-14 emissions of the world's first NPP and Smolensk NPP. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika*. 2023, no. 3, pp. 85-93; DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2023.3.07> (in Russian).

### REFERENCES

1. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. IAEA safety standards series No. GSR Part 3. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 2014. – 471 c.
2. SanPiN 2.6.1.2523-09 Radiation Safety Standards (NRB-99/2009). Sanitary-Epidemiologic Rules and Standards. Moscow. The Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor Publ., 2009, 100 p. (in Russian).
3. SP 2.6.1.2612-10. Basic Sanitary Rules for Ensuring Radiation Safety (OSPORB-99/2010). The Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor Publ., 2009, 83 p. (in Russian).
4. *Germansky A.M.* Radioactive Carbon near Nuclear Facilities, Habitat and Human Health. Green World Website. Available at: <http://www.greenworld.org.ru/?q=rao1679> (accessed Feb. 22, 2023) (in Russian).
5. *Kryshev A.I., Kryshev I.I., Vasyanovich M.E., Ekin A.A., Kapustin I.A., Murashova E.L.* Population Irradiation Dose Assessment for  $^{14}\text{C}$  Emissions from NPP with RBMK-1000 and EGP-2 Reactors. *Atomic Energy*. 2020, v.128, pp. 53-59; DOI: <https://doi.org/10.1007/s10512-020-00650-2>.
6. *Rublevskii V.P., Yatsenko V.N.* Features of Radiological and Biological Actions of  $^{14}\text{C}$  on Living Organisms and the Danger of its Accumulation in the Earth's Biosphere. *Atomic Energy*. 2019, v. 125, pp. 345-350; DOI: <https://doi.org/10.1007/s10512-019-00492-7>.



7. The World's First NPP. Available at: <https://www.ippe.ru/history/1aes> (accessed May 31, 2023). (in Russian).
8. Smolensk NPP Website. Available at: [https://rosenergoatom.ru/stations\\_projects/sayt-smolenskoy-aes/#](https://rosenergoatom.ru/stations_projects/sayt-smolenskoy-aes/#) (accessed May 31, 2023). (in Russian).
9. Rublevskii V.P., Yatsenko V.N. NPP Nuclear Power Reactors As  $^{14}\text{C}$  sources. Atomic Energy, 2016, v. 121, №2, pp. 148-154.
10. Garnier-Laplace J. and Roussel-Debet S. Carbon-14 and the Environment. Radionuclide Fact Sheet. IRSN. Institut de Radioprotection et de Surete Nucleaire. France, 2010, 19 p.
11. Initial Radiological Assessment Methodology. Part 2. Methods and Input Data. Science Report: SC030162/SR2. Bristol, Environment Agency, 2006, 236 p.
12. MU 2.6.5.010-2016. 2.6.5. Nuclear Power and Industry. Justification of the Limits and Operating Conditions of Sanitary Protection Zones and Observation Zones of Radiation Facilities. Guidelines (Approved by the FMBA of Russia Apr. 22, 2016). Moscow. FMBA of Russia Publ., 2016 (in Russian).
13. Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment. Vienna. International Atomic Energy Agency, 2001, 216 p.
14. R 52.18.787-2013. Methodology for Assessing Radiation Risks Based on Radiation Monitoring Data. Obninsk. VNIIGMI – MTsD Publ., 2014, 116 p. (in Russian).
15. SanPiN 2.6.1.24-03. 2.6.1. Ionizing Radiation, Radiation Safety. Sanitary Rules for the Design and Operation of Nuclear Power Plants (SP AS-03). Sanitary-Epidemiologic Rules and Standards. Moscow. The Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor Publ., 2003 (in Russian).

#### Authors

Boris I. Synzynys, Professor, Dr. Sci. (Biology),

E-mail: [synzynys@obninsk.ru](mailto:synzynys@obninsk.ru)

Thi Kim Phung Nguyen, student,

E-mail: [nguentkhifung@oiate.ru](mailto:nguentkhifung@oiate.ru)

Olga A. Momot, Associate Professor, PhD (Biology),

E-mail: [momotulya@gmail.com](mailto:momotulya@gmail.com)

Galina V. Lavrentyeva, Head of the Department, Dr. Sci. (Biology),

E-mail: [Lavrentyeva\\_g@list.ru](mailto:Lavrentyeva_g@list.ru)