

# РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ И ЕГО РОЛЬ В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

**С.В. Фесенко, Н.И. Санжарова, Е.И. Карпенко, Н.Н. Исамов,**

**В.К. Кузнецов, А.В. Панов, П.Н. Цыгвинцев**

*Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии  
249032, Калужская обл., г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км*



Изложены методологические подходы к организации радиационно-экологического мониторинга в регионах размещения атомных электростанций. Анализ результатов мониторинга на Белоярской, Курской, Ленинградской и Ростовской АЭС показал, что вклад природного радиационного фона в дозу облучения населения варьирует в узких пределах от 3,13 до 4,16 мЗв в год, а дозы от существующего техногенного загрязнения – от 0,47 (Ростовская АЭС) до 150 мкЗв в год (Белоярская АЭС). Вариабельность доз облучения обусловлена как влиянием природно-климатических условий, так и воздействием других источников загрязнения и отличиями в технологиях производства электроэнергии. Техногенный радиационный фон в районе Белоярской АЭС определяется загрязнением окружающей среды в результате предыдущей деятельности, а в районах Ленинградской АЭС и Курской АЭС связан с чернобыльскими выпадениями (91 и 14 мкЗв в год соответственно). Вклад АЭС в существующий техногенный радиационный фон варьируется от 1% (Ростовская АЭС) до 10 – 11% (Курская и Белоярская АЭС).

**Ключевые слова:** атомная электростанция, радиационная безопасность, радиационно-экологический мониторинг, дозы облучения, техногенное загрязнение.

## ВВЕДЕНИЕ

Оценка экологических последствий функционирования атомных электростанций является одним из ключевых элементов в системе доказательства безопасности ядерной энергетики [1]. Обеспечение экологической безопасности АЭС закладывается на этапе обоснования выбора площадки под строительство и подготовки проектной документации. В рамках инженерно-экологических изысканий проводится оценка экологического состояния территории строительства; осуществляется прогноз последствий функционирования АЭС; разрабатываются рекомендации по предотвращению негативных последствий, по организации экологического мониторинга и др. [2 – 4].

Целью работы является анализ результатов радиационно-экологического мониторинга в регионах размещения АЭС на территории Российской Федерации.

© С.В. Фесенко, Н.И. Санжарова, Е.И. Карпенко, Н.Н. Исамов, В.К. Кузнецов,  
А.В. Панов, П.Н. Цыгвинцев, 2021

### ОРГАНИЗАЦИЯ РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Радиационно-экологический мониторинг осуществляется в рамках Единой государственной системы экологического мониторинга (ЕСГЭМ) Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и Государственной корпорацией по атомной энергии «Росатом» [5]. Радиационный мониторинг в зоне влияния АЭС является локальным мониторингом и включает в себя два основных блока: контроль источников загрязнения; наблюдение за состоянием окружающей среды. Целью радиационно-экологического мониторинга является обеспечение радиационной безопасности населения и требований нормативов, регламентирующих качество окружающей среды, а также выявление тенденций изменения радиационно-экологической обстановки в процессе эксплуатации АЭС. К основным задачам мониторинга относятся выявление путей загрязнения, определение приоритетных загрязнителей, изучение поведения радионуклидов, прогнозирование экологической обстановки, обеспечение информацией для принятия управленческих решений.

Таблица 1

#### Регламент радиационно-экологического мониторинга агроэкосистем в зоне воздействия АЭС при штатном режиме эксплуатации

Вид с.-х. угодий и продукции	Тип пробы	Периодичность отбора	Определяемые радионуклиды	
Пахотные угодья	Почва	1 – перед посевом культур	$^{51}\text{Cr}$ , $^{54}\text{Mn}$ , $^{58,60}\text{Co}$ , $^{59}\text{Fe}$ , $^{95}\text{Zr}+^{95}\text{Nb}$ ,	
		2 – в период уборки урожая	$^{90}\text{Sr}$ , $^{134,137}\text{Cs}$ , $^{131}\text{I}$	
	Овощи	В период уборки урожая	$^{58,60}\text{Co}$ , $^{90}\text{Sr}$ , $^{134,137}\text{Cs}$ , $^{131}\text{I}$	
	Фрукты	В период уборки урожая	$^{60}\text{Co}$ , $^{90}\text{Sr}$ , $^{134,137}\text{Cs}$	
	Ягоды	В период уборки урожая	$^{54}\text{Mn}$ , $^{58,60}\text{Co}$ , $^{134,137}\text{Cs}$ , $^{131}\text{I}$	
	Злаки (зерно)	В период уборки урожая	$^{51}\text{Cr}$ , $^{54}\text{Mn}$ , $^{58,60}\text{Co}$ , $^{95}\text{Zr}+^{95}\text{Nb}$ , $^{90}\text{Sr}$ , $^{134,137}\text{Cs}$ , $^{131}\text{I}$	
Естественные и культурные сенокосы и пастбища	Почва	1 – перед выпасом с.-х. животных		
		2 – в периоды первого укоса трав и первого срамливания	$^{51}\text{Cr}$ , $^{54}\text{Mn}$ , $^{58,60}\text{Co}$ , $^{59}\text{Fe}$ , $^{95}\text{Zr}+^{95}\text{Nb}$ ,	
3 – в периоды второго укоса трав и второго срамливания		$^{90}\text{Sr}$ , $^{134,137}\text{Cs}$ , $^{131}\text{I}$		
	Корма	1 – перед выпасом с.-х. животных		
2 – в периоды первого укоса трав и первого срамливания		$^{51}\text{Cr}$ , $^{54}\text{Mn}$ , $^{58,60}\text{Co}$ , $^{90}\text{Sr}$ , $^{95}\text{Zr}+^{95}\text{Nb}$ ,		
3 – в периоды второго укоса трав и второго срамливания		$^{134,137}\text{Cs}$ , $^{131}\text{I}$		
Продукция животноводства	Баранина	При забое животных	$^{54}\text{Mn}$ , $^{58,60}\text{Co}$ , $^{59}\text{Fe}$ , $^{90}\text{Sr}$ , $^{134,137}\text{Cs}$ , $^{131}\text{I}$	
	Говядина	При забое животных	$^{58,60}\text{Co}$ , $^{59}\text{Fe}$ , $^{90}\text{Sr}$ , $^{134,137}\text{Cs}$ , $^{131}\text{I}$	
	Свинина	При забое животных		
	Курятина	При забое птицы		
	Рыба	При лове для продажи	$^{54}\text{Mn}$ , $^{58,60}\text{Co}$ , $^{59}\text{Fe}$ , $^{90}\text{Sr}$ , $^{134,137}\text{Cs}$ , $^{131}\text{I}$	
	Молоко	1 – стойловый период		
		2 – начало выпаса		
		3 – в первое срамливание	$^{54}\text{Mn}$ , $^{58,60}\text{Co}$ , $^{59}\text{Fe}$ , $^{90}\text{Sr}$ , $^{134,137}\text{Cs}$ , $^{131}\text{I}$	
		4 – в повторное срамливание	$^{58,60}\text{Co}$ , $^{59}\text{Fe}$ , $^{90}\text{Sr}$ , $^{134,137}\text{Cs}$ , $^{131}\text{I}$	
		5 – при смене пастбища		
Яйца	Перед отправкой на продажу			
Шерсть	В период стрижки			
Вода	При орошении или лове рыбы для продажи		$^{54}\text{Mn}$ , $^{58,60}\text{Co}$ , $^{59}\text{Fe}$ , $^{90}\text{Sr}$ , $^{134,137}\text{Cs}$ , $^{131}\text{I}$ , $^3\text{H}$	

Для реализации программ радиационно-экологического мониторинга разрабатывается регламент (табл. 1) [6, 7]. Выбор объектов мониторинга проводится на основании анализа данных о выбросах и сбросах АЭС с учётом всех путей облучения населения.

При оценке результатов мониторинга используются санитарно-гигиенические критерии и фоновые значения концентраций радионуклидов. Обязательным элементом является фоновое обследование площадки строительства и включение в сеть мониторинга контрольных площадок вне зоны воздействия АЭС. Санитарно-гигиенические критерии применимы преимущественно для оценки влияния на организм человека. В настоящее время развивается система критериев по радиационному воздействию на природные объекты, в частности, оцениваются дозовые нагрузки на референтные виды биоты [8].

### **РЕЗУЛЬТАТЫ РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В РАЙОНАХ РАЗМЕЩЕНИЯ АЭС**

Представлены результаты реализации программ радиационно-экологического мониторинга, проведенного ФГБНУ ВНИИРАЭ на Белоярской, Курской, Ленинградской и Ростовской АЭС. При организации мониторинга для каждой АЭС учитывались характеристики как источников загрязнения, так и площадки размещения АЭС. Рассматривались различные сценарии формирования радиационной обстановки (фактические или планируемые данные по выбросам и сбросам, потенциальные аварийные ситуации), периоды функционирования радиационных объектов. Исследуемые показатели: мощность AMBIENTного эквивалента дозы; содержание радионуклидов в воде поверхностных водоемов и в питьевой воде, грунтах, почвах, растительности, продуктах питания, кормах для животных; плотность загрязнения почв; коэффициенты перехода радионуклидов в растения и др.

На основании анализа исходной информации и результатов радиационно-экологического мониторинга оценивались дозовые нагрузки на население от каждого радионуклида на момент проведения наблюдений и через 30 – 50 лет нормальной эксплуатации АЭС.

Многолетние наблюдения в районе Ленинградской АЭС показали, что радиационная обстановка связана с влиянием радиоактивных выпадений после аварии на ЧАЭС [9]. Среди техногенных радионуклидов наибольший вклад в дозу существующего облучения (67% – для городского и 74% – для сельского населения) вносит  $^{137}\text{Cs}$  (в основном, чернобыльского происхождения). Вклад ЛАЭС в формирование существующего радиационного фона составляет 0,13% и не может быть определён инструментальными методами.

Оценка доз планового облучения населения при вводе в эксплуатацию четырёх новых реакторов ВВЭР-1200 через 50 лет работы станции показывает, что вклад радионуклидов станционного происхождения незначительно увеличится и составит около 0,2% от природного радиационного фона. Основной вклад в формирование дозы от ВВЭР-1200 по всем путям облучения будет вносить  $^{14}\text{C}$  (63%), значим будет вклад инертных радиоактивных газов (ИРГ) (18%) и  $^3\text{H}$  (11%).

Результаты мониторинга в течение 17-ти лет в районе Курской АЭС показали, что формирование радиационной обстановки, в основном, определяется долгоживущими  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  [10]. Среди путей существующего облучения доминирует внешнее облучение от радионуклидов, находящихся в почве (83%), значимым является вклад в дозу от потребления продуктов питания (17%). Основным дозообразующим радионуклидом является  $^{137}\text{Cs}$ , что объясняется влиянием чернобыльских выпадений. Ожидаемая эффективная доза внутреннего облучения за счет  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  составляет 2,5 и 5,0 мкЗв·г.<sup>-1</sup> соответственно. Дозы облучения населения от атмосферных выбросов Курской АЭС в

настоящее время определяются внешним облучением от ИРГ, находящихся в облаке ~ 40%, вклад  $^{131}\text{I}$  (пероральный путь) составляет 5% и  $^{60}\text{Co}$  ~4%. Вклад газоаэрозольных выбросов в формирование дозы облучения примерно в 10 раз ниже, чем от существующего загрязнения техногенными радионуклидами.

Результаты мониторинга в течение 18-ти лет в районе Ростовской АЭС показали, что  $^{131}\text{I}$  и  $^{137}\text{Cs}$  составляют основную долю в суммарной активности радионуклидов стационарного происхождения [11]. Через 30 лет эксплуатации АЭС в штатном режиме уровни загрязнения за счёт «станционного»  $^{137}\text{Cs}$  увеличатся для молока и мяса не более чем на 10%, а для картофеля, озимой пшеницы и овощей – от 9 до 20%. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  стационарного происхождения в продукции в 20 – 650 раз ниже, чем за счёт глобальных выпадений. Вклад их в суммарную дозу облучения составляет 0,23 – 2,4%, а через 30 лет увеличится до 0,61 – 5,9%. Вклад в существующее облучение от газоаэрозольных выбросов АЭС составляет 0,41 мкЗв·г.<sup>-1</sup>, что более чем в 10 раз ниже, чем от техногенных радионуклидов (4,74 мкЗв·г.<sup>-1</sup>).

Результаты радиационно-экологического мониторинга в регионе Белоярской АЭС показали, что содержание естественных и техногенных радионуклидов в компонентах различных природных сред находится на уровне регионального фона [12]. Суммарные дозы облучения населения за счёт техногенных радионуклидов составляют 0,13 мЗв·г.<sup>-1</sup> для сельского и 0,09 мЗв·г.<sup>-1</sup> для городского населения. С учётом облучения от естественного радиационного фона значение среднегодовой эффективной дозы составляет 2,23 мЗв·г.<sup>-1</sup> для сельского и 1,99 мЗв·г.<sup>-1</sup> для городского населения. Эффективная годовая доза облучения населения от выбросов Белоярской АЭС без учёта трития формируется преимущественно за счёт потребления продуктов питания (85%) и составляет 0,59 мкЗв·г.<sup>-1</sup>. Доза внешнего облучения населения находится на уровне 0,1 мкЗв·г.<sup>-1</sup>. Вклад  $^{41}\text{Ar}$  в дозу облучения от облака составляет 85%, доза от выпадений на почве за счёт  $^{137}\text{Cs}$  – 91%. Значимый вклад в дозу внутреннего облучения вносит потребление продуктов питания – за счёт  $^{137}\text{Cs}$  50% и  $^{90}\text{Sr}$  40% (без учёта  $^3\text{H}$ ). Полученные данные показывают, что Белоярская АЭС не оказывает значимого влияния на дополнительное облучение населения в 30-километровой зоне. Повышенное содержание радионуклидов отмечено только на территории Ольховского болота.

### **АНАЛИЗ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АЭС**

Представленные результаты мониторинга на четырёх АЭС различного типа являются достаточно общими для ведения радиоэкологического мониторинга на территории Российской Федерации и позволяют оценить эффективность систем мониторинга. При проведении радиационно-экологического мониторинга осуществлялись наблюдения как за источниками выбросов, так и за состоянием окружающей среды [1, 13]. Эти два вида мониторинга взаимосвязаны и в равной степени важны для оценки радиационной обстановки.

При мониторинге источника – радиоактивных выбросах и сбросах АЭС – используются два вида информации: проектные данные о допустимых, предельно допустимых или плановых выбросах; данные о фактических выбросах [14]. Проектные данные по допустимым выбросам рассчитываются исходя из дозовых квот – доза облучения лиц из критической группы населения за счёт газоаэрозольных выбросов АЭС при нормальной эксплуатации не превысит 10 мкЗв·г.<sup>-1</sup> [15]. Регламентируются также предельно допустимые выбросы на уровне 20-ти допустимых выбросов (или 200 мкЗв·г.<sup>-1</sup> в терминах дозы), а для проектируемых и строящихся АЭС – на уровне пяти допустимых выбросов (50 мкЗв·г.<sup>-1</sup>). Значения предельно допустимых сбросов для всех АЭС превышают допустимый сброс в пять раз. Эти значения устанавливаются на основании квот на облучение населения, равных 250 мкЗв·г.<sup>-1</sup> для действующих АЭС и 100 мкЗв·г.<sup>-1</sup> для проекти-

руемых и строящихся АЭС.

Эти значения используются для расчёта предельно допустимых выбросов (ПДВ) радионуклидов с АЭС в атмосферу и предельно допустимых сбросов (ПДС) радионуклидов в поверхностные воды. В режиме нормальной эксплуатации АЭС установленные ПДВ и ПДС являются верхними границами для выбросов и сбросов. В качестве нижней границы при оптимизации радиационной защиты населения в режиме нормальной эксплуатации АЭС принимается минимально значимая доза, равная  $10 \text{ мкЗв} \cdot \text{г}^{-1}$ . Этот же дозовый предел используется для расчёта допустимых выбросов (ДВ) и сбросов (ДС) [15].

Важным источником данных для более реалистичной оценки воздействия облучения на человека и окружающую среду являются данные о фактических выбросах. При оценке результатов радиоэкологического мониторинга использовались оба источника информации: плановые выбросы для консервативных оценок, а данные фактических выбросов совместно с результатами радиоэкологического мониторинга – для реалистичных оценок.

Существуют различные подходы к оценке вклада выбросов предприятий ядерного энергетического комплекса на окружающую среду. Как правило, методы непосредственного измерения радионуклидов в окружающей среде не позволяют измерить вклад АЭС в существующее загрязнение. Более информативен анализ временных рядов, объединяющий данные концентрации радионуклидов в почве за достаточно большой промежуток времени. Так анализ данных для отдельных контрольных участков в зоне воздействия Ростовской АЭС показал, что изменение концентрации в почве  $^{90}\text{Sr}$  происходит с периодом полуснижения 28,76 лет, что соответствует периоду полураспада. Для  $^{137}\text{Cs}$ , доля которого в газоаerosольных выбросах достаточно велика, период полуснижения концентрации радионуклида в почве (58,1 года) значительно превышает его период полураспада (рис. 1) [11]. Увеличение в почвах  $^{137}\text{Cs}$  стационарного происхождения описывается уравнением

$$q(t) = 0,13 \cdot t \quad (1)$$

где  $t$  – время с начала выпадений;  $q(t)$  – концентрация  $^{137}\text{Cs}$ . Это означает, что в зоне наблюдения АЭС существует постоянный источник поступления  $^{137}\text{Cs}$  стационарного происхождения, определяющий дополнительное загрязнение почв.

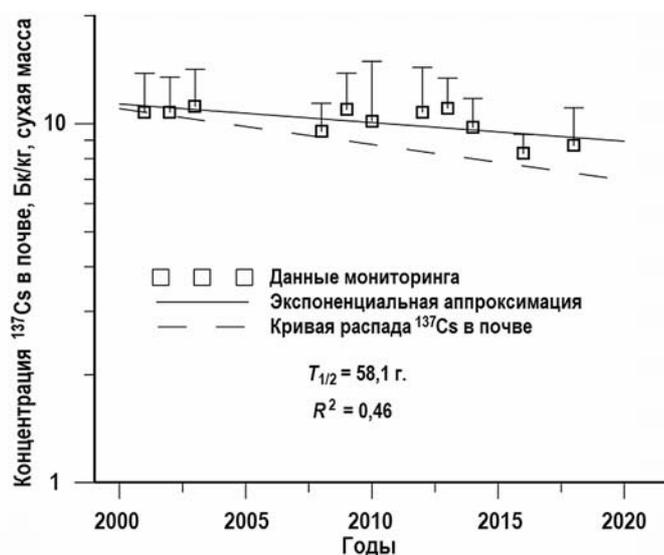


Рис. 1. Динамика концентраций  $^{137}\text{Cs}$  в почвах контрольных участков в зоне наблюдения Ростовской АЭС

Представленные данные являются одним из первых экспериментальных доказательств влияния выбросов  $^{137}\text{Cs}$  на увеличение его концентрации в почве. Одновременно это подчеркивает необходимость долгосрочных систематических наблюдений.

Анализ результатов радиационно-экологического мониторинга четырёх АЭС показал, что формируемые за счет природного радиационного фона дозы облучения населения варьируют в довольно узких пределах от 3,13 до 4,16 мЗв·г.<sup>-1</sup> [16], при этом вклад продуктов питания в дозу от природного фона сравнительно невелик – от 3 до 5% [9 – 12]. Необходимо отметить влияние природно-климатических условий на накопление радионуклидов в продукции и формирование доз облучения населения. Минимальные уровни содержания радионуклидов в продукции сельского хозяйства отмечены в районе Курской и Ростовской АЭС, что связано с преобладанием высокоплодородных почв, которые характеризуются высокой сорбционной способностью по отношению к радионуклидам (табл. 2).

Таблица 2

**Концентрация  $^{137}\text{Cs}$  в сельскохозяйственной продукции, Бк·кг<sup>-1</sup>**

Виды продукции	Белоярская	Курская	Ленинградская	Ростовская
Молоко	0,11 (0,06 – 0,20)	0,14 (0,02 – 0,30)	0,1 (0,03 – 0,21)	0,06 (0,01 – 0,16)
Картофель	0,06 (0,03 – 0,09)	0,08 (0,01 – 0,48)	0,5 (0,1 – 0,7)	0,34 (0,10 – 1,0)
Зерно	0,39 (0,23 – 0,54)	0,3 (0,1 – 0,7)	0,3(0,1 – 0,7)	0,63 (0,36 – 0,94)

Таблица 3

**Радиозэкологические характеристики районов размещения АЭС [9 – 12, 16]**

Параметры	Белоярская	Курская	Ленинградская	Ростовская
Дозы существующего облучения от техногенных радионуклидов				
Суммарная доза, мЗв·г. <sup>-1</sup>	1,52·10 <sup>-1</sup>	1,43·10 <sup>-2</sup>	9,1·10 <sup>-2</sup>	4,7·10 <sup>-3</sup>
Вклад продуктов, %	14	17	64	52
Дозы от выбросов АЭС				
Суммарная доза, мкЗв·г. <sup>-1</sup>	16*) (1,2·10 <sup>2</sup> )	1,5	4,1	7,1·10 <sup>-2</sup>
Суммарная доза на 1 ГВт, мкЗв·г. <sup>-1</sup>	15	0,5	1,5	2,9·10 <sup>-2</sup>
Вклад продуктов, %	85	12	86	17
Суммарная доза, мкЗв·г. <sup>-1</sup>	1,58·10 <sup>-1</sup>	6,25	5,2	6,8·10 <sup>-2</sup>
Суммарная доза на 1 ГВт, мкЗв·г. <sup>-1</sup>	1,5·10 <sup>-1</sup>	2,1	1,8	2,8·10 <sup>-2</sup>
Дозы от природного радиационного фона (существующее облучение)				
Суммарная доза, мЗв·г. <sup>-1</sup>	3,98	3,13	3,31	4,16
Доза от продуктов мЗв·г. <sup>-1</sup>	0,113	0,128	0,155	0,118
*) Годовая доза от всех радиационных объектов на площадке составляет 120 мкЗв·г. <sup>-1</sup>				

Вклад продуктов питания в дозы существующего облучения варьируется от 14 до 64%, что обусловлено локальными особенностями формирования путей облучения (табл. 3). Дозы облучения населения для Курской АЭС в значительной степени связаны с влиянием чернобыльских выпадений. Низкие значения коэффициентов перехода радионуклидов

в сельскохозяйственную продукцию определяют доминирование внешнего облучения в формировании суммарной дозы для Ростовской АЭС. Региональные особенности необходимо учитывать при формировании требований к программе мониторинга для выявления факторов, определяющих загрязнения окружающей среды и облучения человека.

Дозы от существующего техногенного загрязнения варьируют в более широком диапазоне от 0,47 до 150 мкЗв·г<sup>-1</sup>, отражая не только влияние природно-климатических условий, но и различия в других источниках поступления радионуклидов: чернобыльские выпадения, выбросы и сбросы других ядерных предприятий, отличия в используемых для производства электроэнергии технологиях (см. табл. 3). Формируемая за счет техногенного радиационного фона доза облучения населения в районе Белоярской АЭС составляет 0,15 мЗв·г<sup>-1</sup> и определяется загрязнением окружающей среды в результате предыдущей деятельности (эксплуатация реакторов АМБ-100 и АМБ-200). В районе Ленинградской и Курской АЭС дозы облучения населения составляют  $9,1 \cdot 10^{-2}$  и  $1,4 \cdot 10^{-2}$  мЗв·г<sup>-1</sup>, при этом основным источником загрязнения являются чернобыльские выпадения. Минимальная доза за счет техногенного фона отмечается в районе Ростовской АЭС –  $4,7 \cdot 10^{-3}$  мЗв·г<sup>-1</sup>.

Вклад выбросов и сбросов АЭС в существующий техногенный радиационный фон, рассчитанный на основании данных радиозоологического мониторинга, варьирует от 1% (Ростовская АЭС) до 10 – 11% (Курская и Белоярская АЭС).

При сравнении природных и технологических факторов, определяющих вклад АЭС в облучение населения, необходимо учитывать мощность электростанций, а дозы облучения приводить на единицу вырабатываемой электроэнергии. Дозы от выбросов АЭС, рассчитанные на 1 ГВт произведенной электроэнергии, варьируют от  $2,9 \cdot 10^{-2}$  до 15 мкЗв·г<sup>-1</sup>, что согласуется с оценками для аналогичных зарубежных энергетических установок [17].

Сравнение оценок доз облучения человека по результатам мониторинга с данными работы [18] (табл. 4) показывает, что они близки для Ленинградской и Ростовской АЭС, до двух порядков ниже данных для Белоярской АЭС [12] и существенно превышают оценки доз для Курской АЭС [10]. Отмеченные различия могут быть связаны как с недооценкой местных природно-климатических факторов, так и вариациями в составе и объёме выбросов АЭС.

Таблица 4

**Дозы облучения населения от газоаerosольных выбросов Российских АЭС [18]**

АЭС	мкЗв·г <sup>-1</sup>	Вклад в дозу, %							
		ИРГ	<sup>3</sup> H	<sup>14</sup> C	<sup>60</sup> Co	<sup>131</sup> I	<sup>134</sup> C	<sup>137</sup> Cs	Другие
Белоярская	$1,58 \cdot 10^{-1}$	31,3	7,5	32,6	2,8	< 0,1	2,0	23,8	< 0,1
Курская	6,25	22,3	1,1	31,0	27,0	0,8	1,1	14,4	2,3
Ленинградская	5,16	31,3	2,5	53,4	5,9	< 0,1	0,9	4,2	1,8
Ростовская	$6,79 \cdot 10^{-2}$	20,5	57,8	20,4	0,1	< 0,1	0,5	0,5	0,2

Другой причиной отличий в оценке дозовых нагрузок на население может быть различный учёт дозы от трития. Так модели, рекомендованные МАГАТЭ [19], показывают, что вклад трития может составлять до 95% дозы. Оценки доз могут значительно отличаться в зависимости от цели их использования, например, при консервативном или реалистичном подходе. Вследствие этого использование ступенчатого (tiered approach) подхода с чётким определением, какие модели и параметры могут быть использованы для конкретной цели, является наиболее рациональным путём оценки безопасности ядер-

ных объектов. Международные подходы к безопасности АЭС предполагают использование реалистичных дозовых моделей, основанных на данных радиационно-экологического мониторинга и учёте местных условий. Принципиально важным является введение в практику радиационного регулирования концепции «референтного человека», что отразится на допущениях при использовании дозиметрических моделей.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Одним из положений Международных стандартов безопасности МАГАТЭ является требование прямой демонстрации отсутствия воздействия ядерных предприятий на окружающую среду и человека [1]. Радиоэкологический мониторинг является основным средством, которое позволяет дать такое обоснование, а данные, получаемые в результате его внедрения, позволяют дать адекватное обоснование для оценки радиологической ситуации в регионах их размещения [20]. В то же время существует ряд проблем, требующих решения при оценке безопасности АЭС и других объектов ядерного энергетического комплекса по данным радиационно-экологического мониторинга и использовании в качестве основного критерия дозового квотирования. Среди вопросов общего плана следует выделить несоответствие законодательства РФ в области радиационной безопасности современным требованиям и стандартам МАГАТЭ, что ограничивает распространение российских технологий за рубежом. В частности, в систему национального регулирования радиационной безопасности не внедрены подходы к классификации ситуаций облучения, включая ситуации существующего облучения, планового облучения и аварийного облучения.

Опыт использования международных расчетных кодов не анализируется, а российские коды для определения предельно допустимых выбросов АЭС и доз облучения населения носят закрытый характер, что ограничивает их применение за пределами РФ.

В базовом документе, регламентирующем радиационную безопасность АЭС СанПин 2.6.1.24-03 [15], декларируется, что «Радиационная безопасность атомных станций считается достаточной, если техническими средствами и организационными мерами обеспечивается «непревышение» установленных НРБ-99/2009 основных пределов доз облучения персонала, населения...». При этом оценка «непревышения» основных пределов доз не может рассматриваться корректной, если основные дозообразующие радионуклиды, такие как  $^{14}\text{C}$  и  $^3\text{H}$ , не учтены при установлении дозовых квот и допустимых выбросов.

Не определена роль радиационно-экологического мониторинга окружающей среды в общей системе радиационной безопасности. Отсутствуют требования к мониторингу источников радиоактивных выбросов [20]. В СанПин 2.6.1.24-03 термин «мониторинг» не упоминается. Требуют совершенствования методики отбора и подготовки проб к измерениям для ряда радионуклидов, определяющих дозы облучения населения, таких как  $^{14}\text{C}$  и  $^3\text{H}$ .

Необходимость совершенствования методологических подходов, нормативного и методического обеспечения, гармонизации национальных требований с международными документами является насущной проблемой совершенствования системы регулирования, включая систему радиационно-экологического мониторинга.

### **Литература**

1. IAEA. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. – No. GSR. – Part 3. – Vienna: IAEA, 2014. – 436 p.
2. СП 47.13330.2016. Свод правил. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. – М.: Минстрой России, 2016. – 155 с. Электронный ресурс: <https://docs.cntd.ru/document/456045544> (дата доступа 22.08.2021).
3. СП 151.13330.2012. Инженерные изыскания для размещения, проектирования и

- строительства АЭС. Ч. I. – М.: Минстрой России, 2013. – 187 с. Электронный ресурс: <https://docs.cntd.ru/document/1200103172> (дата доступа 22.08.2021).
4. СП 151.13330.2012. Инженерные изыскания для размещения, проектирования и строительства АЭС. Ч. II. – М.: Минстрой России, 2013. – 155 с. Электронный ресурс: <https://docs.cntd.ru/document/1200103172> (дата доступа 22.08.2021).
5. Постановление Правительства РФ от 10 июля 2014 г. №639 «О государственном мониторинге радиационной обстановки на территории Российской Федерации». Электронный ресурс: <https://docs.cntd.ru/document/420207297> (дата доступа 22.08.2021).
6. МР 2.6.1.27-2003. Зона наблюдения радиационного объекта. Организация и проведение радиационного контроля окружающей среды: методические рекомендации. – М.: Технорматив, 2007. – 70 с. Электронный ресурс: <https://docs.cntd.ru/document/1200071317> (дата доступа 22.08.2021).
7. МУ-13.5.13-00. Организация государственного радиэкологического мониторинга агроэкосистем в зоне воздействия радиационно-опасных объектов. – М.: Минсельхоз России, 2000. – 28 с.
8. ICRP Publication 103. The Recommendation of the International Commission on Radiological Protection. // Ann. ICRP. – 2009. – Vol. 38. – No. 4-6. – PP. 1-242.
9. Цыгвинцев П.Н., Нуштаева В.Э., Душин В.Л. и др. Радиэкологический мониторинг в районе размещения Ленинградской АЭС. / В сб. «Мониторинг природных и аграрных экосистем в районах расположения атомных электростанций» под ред. С.В. Фесенко. – Обнинск: ВНИИРАЭ, 2020. – С. 107-133.
10. Кузнецов В.К., Санжарова Н.И., Андреева Н.В. и др. Радиэкологический мониторинг в зоне расположения Курской АЭС. / В сб. «Мониторинг природных и аграрных экосистем в районах расположения атомных электростанций» под ред. С.В. Фесенко. – Обнинск: ВНИИРАЭ, 2020. – С. 87-106.
11. Исамов Н.Н., Санжарова Н.И., Нуштаева В.Э. и др. Радиационно-экологический мониторинг в зоне размещения Ростовской АЭС. / В сб. «Мониторинг природных и аграрных экосистем в районах расположения атомных электростанций» под ред. С.В. Фесенко. – Обнинск: ВНИИРАЭ, 2020. – С. 134-157
12. Панов А.В., Душин В.Н., Исамов Н.Н. и др. Мониторинг природных и аграрных экосистем в районе расположения Белоярской атомной электростанции. / В сб. «Мониторинг природных и аграрных экосистем в районах расположения атомных электростанций» под ред. С.В. Фесенко. – Обнинск: ВНИИРАЭ, 2020. – С. 67-86.
13. Руководство по безопасности № RS-G-1.8. Мониторинг окружающей среды и источников для целей радиационной безопасности: нормы безопасности МАГАТЭ для защиты людей и охраны окружающей среды. – Вена: МАГАТЭ, 2005. – 168 с.
14. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2018 году. Ежегодник. – Обнинск: Росгидромет России, 2019. – 324 с.
15. СанПин 2.6.1.24-03. Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций (СП АС-03). – М.: Минздрав РФ, 2003. – 36 с. Электронный ресурс: <https://docs.cntd.ru/document/901862274> (дата доступа 22.08.2021).
16. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2018 году: информационный сборник. – Санкт-Петербург: НИИРГ, 2019. – 72 с.
17. UNSCEAR. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Annex B: Radiation exposures from electricity generation. – New York: United Nations, 2017. – PP. 135-240.
18. Vasyanovich M.E. et al. Determination of Radionuclide Composition of the Russian NPPs Atmospheric Releases and Dose Assessment to Population. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2019. – Vol. 208-209. – P. 106006. Электронный ресурс: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0265931X19300876> (дата доступа 22.08.2021); DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.106006>.
19. IAEA. Safety Reports Series No.19. Generic models for use in assessing the impact of discharges of radioactive substances to the environment. – Vienna: IAEA, 2001. – 229 p.

20. IAEA. Safety Reports Series No.64. Programmes and Systems for Source and Environmental Radiation Monitoring, - Vienna: IAEA, 2010. – 232 p.

Поступила в редакцию 31.08.2021 г.

**Авторы**

Фесенко Сергей Викторович, главный научный сотрудник, д-р биол. наук  
E-mail: corwin\_17f@mail.ru

Санжарова Наталья Ивановна, научный руководитель института, д-р биол. наук,  
E-mail: natsan2004@mail.ru

Карпенко Евгений Игоревич, директор, д-р биол. наук  
E-mail: karpenko\_evgenii@mail.ru

Исамов Низаметдин Низаметдинович, ведущий научный сотрудник, канд. биол. наук  
E-mail: nizomis@yandex.ru

Кузнецов Владимир Константинович, главный научный сотрудник, д-р биол. наук  
E-mail: vkkuzn@yandex.ru

Панов Алексей Валерьевич, главный научный сотрудник, д-р биол. наук  
E-mail: riar@mail.ru

Цыгвинцев Павел Николаевич, ведущий научный сотрудник, канд. биол. наук  
E-mail: paul-gomel@mail.ru

UDC 614.7:621.039.58

**RADIOECOLOGICAL MONITORING AND ITS ROLE IN ENSURING SAFETY OF NUCLEAR POWER PLANTS**

Fesenko S.V., Sanzharova N.I., Karpenko E.I., Isamov N.N., Kuznetsov V.K., Panov A.V., Tsygvintsev P.N.

Russian Institute for Radiology and Agroecology  
109 km Kievskoye Hwy, 249032 Obninsk, Kaluga Reg., Russia

ABSTRACT

Methodological approaches are outlined for organizing radiological and environmental monitoring in the nuclear power plant location areas. An analysis of the monitoring results from the Beloyarsk, Kursk, Leningrad and Rostov NPPs has shown that the contribution of the natural radiation background to the public exposure dose varies within a narrow range of 3.13 to 4.16 mSv per year, and doses from the existing man-made contamination varies in a range of 0.47 (Rostov NPP) to 150 mSv per year (Beloyarsk NPP).

The variability of exposure doses is explained both by the effects of the natural and climatic conditions and by the impact from other sources of contamination and by differences in electricity generation technologies. The man-made radiation background in the Beloyarsk NPP area is defined by the environmental contamination as the result of earlier activities and that in the Leningrad NPP and Kursk NPP areas is associated with the Chernobyl fallouts (91 and 14  $\mu$  Sv per year respectively). The contribution of NPPs to the existing man-made radiation background varies in a range of 1% (Rostov NPP) to 10 – 11% (Kursk NPP and Beloyarsk NPP).

**Key words:** nuclear power plant, radiation safety, radiological and environmental

monitoring, exposure doses, man-made contamination.

#### REFERENCE

1. IAEA. *Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards*. No. GSR. Part 3. Vienna: IAEA, 2014. 436 p.
2. SP 47.13330.2016. *Set of Rules. Engineering Surveys for Construction. Basic Provisions*. Moscow. Minstroy Rossii Publ., 2016, 155 p. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/456045544> (accessed Aug. 22, 2021) (in Russian).
3. SP 151.13330.2012. *Engineering Surveys for the Placement, Design and Construction of Nuclear Power Plants*. Part I. Moscow. Minstroy Rossii Publ., 2013, 187 p. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200103172> (accessed Aug. 22, 2021) (in Russian).
4. SP 151.13330.2012. *Engineering Surveys for the Placement, Design and Construction of Nuclear Power Plants*. Part II. Moscow. Minstroy Rossii Publ., 2013, 155 p. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200103172> (accessed Aug. 22, 2021) (in Russian).
5. Decree of the Government of the Russian Federation of July 10, 2014 No. 639 «*On State Monitoring of the Radiation Situation in the Territory of the Russian Federation*». Available at: <https://docs.cntd.ru/document/420207297> (accessed Aug. 22, 2021) (in Russian).
6. MR 2.6.1.27-2003. *Observation Area of the Radiation Object. Organization and Implementation of Radiation Monitoring of the Environment: Guidelines*. Moscow. Tekhnormativ Publ., 2007, 70 p. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200071317> (accessed Aug. 22, 2021) (in Russian).
7. MU-13.5.13-00. *Organization of State Radioecological Monitoring of Agroecosystems in the Zone of Exposure to Radiation-Hazardous Objects*. Moscow. Minselkhoz RF Publ., 2000, 28 p. (in Russian).
8. ICRP Publication 103. The Recommendation of the International Commission on Radiological Protection. *Ann. ICRP*. 2009, v. 38, no. 4-6, pp. 1-242.
9. Tsygvintsev P.N., Nushtaeva V.E., Dushin V.L., Anisimov V.S., Bondarenko L.G., Kuznetsov V.K., Isamov N.N. Radioecological Monitoring in the Area where the Leningrad NPP is Located. See in «*Monitoring of Natural and Agricultural Ecosystems in the Areas where Nuclear Power Plants are Located*», ed. S.V. Fesenko. Obninsk. VNIIRAE Publ., 2020, pp. 107-133 (in Russian).
10. Kuznetsov V.K., Sanzharova N.I., Andreeva N.V., Nushtaeva V.E., Panov A.V., Sanzharov A.I., Geshel I.V., Sidorova E.V., Kurbakov D.N., Novikova N.V., Sarukhanov A.V. Radioecological Monitoring in the Area of the Kursk NPP. See in «*Monitoring of Natural and Agricultural Ecosystems in the Areas where Nuclear Power Plants are Located*», ed. S.V. Fesenko. Obninsk. VNIIRAE Publ., 2020, pp. 87-106 (in Russian).
11. Isamov N.N., Sanzharova N.I., Nushtaeva V.E., Panov A.V., Kuznetsov V.K., Gubareva O.S., Aleshkina E.N., Geshel I.V., Sidorova E.V., Emlyutina E.S., Fadeev M.Yu., Muzalevskaya I.A., Ursu N.V. Radiation and Environmental Monitoring in the Area of the Rostov NPP. See in «*Monitoring of Natural and Agricultural Ecosystems in the Areas where Nuclear Power Plants are Located*», ed. S.V. Fesenko. Obninsk. VNIIRAE Publ., 2020, pp. 134-157 (in Russian).
12. Panov A.V., Dushin V.N., Isamov N.N., Shabalev S.I., Kuznetsov V.K., Spiridonov S.I., Karpenko E.I., Anisimov V.S., Geshel I.V., Sidorova E.V. Monitoring of Natural and Agricultural Ecosystems in the Area where the Beloyarsk Nuclear Power Plant is Located. See in «*Monitoring of Natural and Agricultural Ecosystems in the Areas where Nuclear Power Plants are Located*», ed. S.V. Fesenko. Obninsk. VNIIRAE Publ., 2020, pp. 67-86 (in Russian).
13. Safety Guide No. RS-G-1.8. *Monitoring the Environment and Sources for Radiation Safety Purposes: IAEA Safety Standards for the Protection of People and the Environment*. Vienna: IAEA, 2005, 168 p. (in Russian).
14. *The Radiation Situation on the Territory of Russia and Neighboring States in 2018. Yearbook*. Obninsk. Rosgidromet Rossii Publ., 2019, 324 p. (in Russian).
15. SanPin 2.6.1.24-03. Sanitary Rules for the Design and Operation of Nuclear Power

Plants (SP AS-03). Moscow. Ministry of Health of the Russian Federation Publ., 2003, 36 p. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/901862274> (accessed Aug. 22, 2021) (in Russian).

16. *Doses of Radiation Exposure to the Population of the Russian Federation in 2018: Information Collection*. St. Petersburg. NIIRG Publ., 2019, 72 p. (in Russian).

17. UNSCEAR. *Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Annex B: Radiation exposures from electricity generation*. New York. United Nations, 2017, pp. 135-240.

18. Vasyanovich M.E. et al. Determination of Radionuclide Composition of the Russian NPPs Atmospheric Releases and Dose Assessment to Population. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2019, v. 208-209, p. 106006. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0265931X19300876> (accessed Aug. 22, 2021); DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.106006>.

19. IAEA. Safety Reports Series No.19. *Generic Models for use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment*. Vienna. IAEA, 2001, 229 p.

20. IAEA. Safety Reports Series No.64. *Programmes and Systems for Source and Environmental Radiation Monitoring*. Vienna: IAEA, 2010, 232 p.

#### Authors

Fesenko Sergey Viktorovich, Chief Researcher, Dr. Sci. (Biology)

E-mail: [corwin\\_17f@mail.ru](mailto:corwin_17f@mail.ru)

Sanzharova Natalia Ivanovna, Scientific Director, Dr. Sci. (Biology)

E-mail: [natsan2004@mail.ru](mailto:natsan2004@mail.ru)

Karpenko Evgeniy Igorevich, Director, Dr. Sci. (Biology)

E-mail: [karpenko\\_evgenii@mail.ru](mailto:karpenko_evgenii@mail.ru)

Isamov Nizametdin Nizametdinovich, Leading Researcher, Cand. Sci. (Biology)

E-mail: [nizomis@yandex.ru](mailto:nizomis@yandex.ru)

Kuznetsov Vladimir Konstantinovich, Chief Researcher, Dr. Sci. (Biology)

E-mail: [vkkuzn@yandex.ru](mailto:vkkuzn@yandex.ru)

Panov Aleksey Valerievich, Chief Researcher, Dr. Sci. (Biology)

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

Tsygvintsev Pavel Nikolaevich, Leading Researcher, Cand. Sci. (Biology)

E-mail: [paul-gomel@mail.ru](mailto:paul-gomel@mail.ru)