

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОГО РИСКА В РАЙОНАХ РАСПОЛОЖЕНИЯ НОВОВОРОНЕЖСКОЙ, БАЛАКОВСКОЙ И ЛЕНИНГРАДСКОЙ АЭС НА ОСНОВЕ ДАННЫХ МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

М.А. Дмитриева, А.И. Крышев, К.Д. Санина

ГУ Научно-производственное объединение «Тайфун», г. Обнинск



Обобщены данные радиационного мониторинга окружающей среды в районах расположения референтных объектов – Нововоронежской (НВАЭС), Балаковской АЭС (БалАЭС) и Ленинградской АЭС (ЛАЭС). Апробирована методика анализа риска применительно к радиоактивному загрязнению окружающей среды. Представлены результаты статистического анализа данных мониторинга и расчетов суммарных дополнительных рисков от отдельных путей радиационного облучения населения, проживающего в районах расположения АЭС, а также даны рекомендации по оптимизации радиационного мониторинга.

Ключевые слова: радиационный риск, мониторинг, окружающая среда, АЭС, радиационное воздействие, безопасность, зона наблюдения.

Key words: radiation risk, monitoring, environment, NPP, radiation exposure, safety, coverage.

ВВЕДЕНИЕ

Традиционно в районах размещения АЭС основное внимание уделяется изучению радиоактивности окружающей среды (ОС). При этом важным средством обеспечения безопасности при использовании атомной энергетики является радиационный мониторинг, под которым понимается система регулярных наблюдений за показателями загрязнения окружающей среды и параметрами состояния биоты с целью своевременного выявления и прогноза нежелательных для человека и экосистем последствий [1]. Согласно современным представлениям, радиационный мониторинг должен быть ориентирован на обеспечение безопасности (величины риска) при использовании ядерной энергии на социально приемлемом уровне. Понятие «социально приемлемый уровень риска» означает, что риск от ядерных технологий не должен являться существенным добавлением к суммарному риску,

© М.А. Дмитриева, А.И. Крышев, К.Д. Санина, 2011

которому подвергается человек и среда его обитания в процессе жизнедеятельности.

Радиационный мониторинг в районе АЭС проводится в целях своевременного обнаружения радиоактивного загрязнения ОС, техногенных изменений радиационной обстановки, оценки и прогноза развития негативных процессов в окружающей среде, а также информационной поддержки принятия решений по обеспечению экологической безопасности. Радиационный мониторинг окружающей среды вокруг АЭС осуществляется лабораториями внешней дозиметрии станций путем организации систематического контроля за радиоактивностью объектов природной среды в пределах 30-километровой зоны наблюдения, а в радиусе до 100 км – региональным Управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (УГМС).

В работе выполнен статистический анализ многолетних данных радиационного мониторинга в районах расположения НВАЭС, БалАЭС и ЛАЭС на основе методов параметрической и непараметрической статистики. Для определения отдельных входных параметров моделей оценки риска выполнены модельные оценки переноса радионуклидов в компонентах ОС. На основе статистических и рассчитанных величин удельных активностей радионуклидов в компонентах ОС были выполнены расчеты дополнительных рисков от отдельных путей радиационного облучения населения, проживающего в зонах наблюдения АЭС.

ОПИСАНИЕ МЕТОДА

Под радиационным риском понимается вероятность возникновения у человека или его потомства какого-либо вредного эффекта в результате облучения (используется упрощенное понятие радиационного риска как вероятности стохастических эффектов облучения) [2]. В основу методологии анализа радиационного риска, обусловленного радиоактивным загрязнением окружающей среды, положены следующие принципы [3–6]:

- **интегральность оценки** (методика анализа риска является современным средством интегральной оценки качества окружающей среды) риска, позволяющая сравнивать на единой методической основе опасность различных составляющих загрязнения окружающей среды, оптимизировать ее мониторинг, что имеет существенное практическое значение для обоснования принятия решений в области охраны окружающей среды;
- **системность** – анализ риска проводится с учетом всех основных путей радиационного воздействия на человека;
- **надежность (консервативность)** – в качестве входных используются обобщенные данные радиационного мониторинга Росгидромета и других организаций, недостающие параметры оцениваются с помощью радиозэкологических моделей, не допускающих занижение оценки риска;
- **практическая значимость** – результаты анализа риска используются для обоснования принятия решений в области радиационно-экологической безопасности.

Анализ радиационного риска включает в себя следующие этапы: идентификация источников риска, анализ данных радиационного мониторинга и модельных оценок переноса радионуклидов в окружающей среде, оценка риска и его категоризация, представление результатов анализа для управления риском.

Важным достоинством методологии анализа риска применительно к радиоактивному загрязнению является переход от множества данных радиационного мониторинга к единому интегральному показателю состояния окружающей среды – уровню радиационного риска. Первым этапом для осуществления этого перехода

является статистическая обработка данных для их дальнейшего применения в оценке риска.

Сбор и систематизация данных радиационного мониторинга в районах расположения НВАЭС, БалАЭС и ЛАЭС производились за период с 2000 по 2008 гг. [7].

Учитываются следующие пути радиационного воздействия:

- потребление в пищу местной продукции и объектов биоты, содержащих радионуклиды;
- внешнее радиационное облучение от почвы;
- ингаляция радионуклидов с атмосферным воздухом.

В соответствии с принципом необходимости учета множественных путей радиационного воздействия рассматривается каждый из этих путей и оценивается его роль в формировании риска.

Статистический анализ данных радиационного мониторинга в районах расположения АЭС проводился для определения средних значений уровней загрязнения компонентов окружающей среды техногенными радионуклидами и доверительных интервалов. Стандартными методами математической статистики совокупность данных выборки анализировалась на нормальность распределения в соответствии с [8].

Для нормальной совокупности выполняются расчеты среднего значения и доверительных интервалов, относительно которых можно утверждать с уровнем доверия 95%, что этот интервал содержит, по крайней мере, 95% совокупности данных мониторинга [9]. В случае, когда функция распределения совокупности данных неизвестна, для определения среднего значения и доверительных интервалов используются методы непараметрической статистики [10].

Полученные результаты статистического анализа являются входными параметрами для оценок радиационного риска при учете множественных путей облучения населения.

Радиационный риск от вдыхания считается равным сумме рисков вдыхания отдельных радионуклидов. Риск от вдыхания отдельного радионуклида определялся по соотношению

$$R_{inh,i} = r_{inh,i} \cdot I_{inh} \cdot C_{air,i} = r_{inh,i} \cdot A_{inh,i} \quad (1)$$

где $R_{inh,i}$ – пожизненный риск техногенного облучения в течение года от вдыхания i -го радионуклида; $r_{inh,i}$ – риск при вдыхании i -го радионуклида в расчете на 1 Бк, взятый из табл. 1; I_{inh} – интенсивность дыхания, м³/год [3, 14]; $C_{air,i}$ – концентрация i -го радионуклида в воздухе, Бк/м³; $A_{inh,i}$ – годовое поступление радионуклида за счет ингаляции, Бк/год.

Оценки коэффициентов риска для различных путей радиационного воздействия представлены в табл. 1 [3, 9, 10].

Риск от потребления радионуклидов с пищей равен сумме рисков от потребления отдельных радионуклидов. Риск от поступления с пищей отдельного радионуклида рассчитывался по формуле

$$R_{ing,i} = r_{ing,i} \sum_p C_{i,p} \cdot I_{food,p} \cdot B_p, \quad (2)$$

где $R_{ing,i}$ – пожизненный риск для техногенного облучения в течение года от потребления с пищей i -го радионуклида; $C_{i,p}$ – концентрация i -го радионуклида в p -м продукте питания, Бк/кг; I_p – годовое потребление p -го продукта питания, кг/год; $r_{ing,i}$ – коэффициент риска при пищевом поступлении радионуклида, взятый из табл. 1; B_p – коэффициент, учитывающий потери i -го радионуклида при кулинарной обработке p -го продукта [3,14].

Риск от внешнего облучения при загрязнении почвы радионуклидами равен сумме рисков от отдельных радионуклидов, присутствующих в почве. Риск, обус-

Таблица 1

Коэффициенты риска для разных путей облучения

Нуклид	Потребление пищи и воды (риск/Бк)	Вдыхание (риск/Бк)	Внешнее облучение (риск/год на 1 Бк/г почвы)
⁵⁴ Mn	$1,6 \cdot 10^{-10}$	$9,4 \cdot 10^{-11}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$
⁶⁰ Co	$1,4 \cdot 10^{-9}$	$6,0 \cdot 10^{-10}$	$3,3 \cdot 10^{-4}$
⁹⁰ Sr	$3,8 \cdot 10^{-9}$	$2,5 \cdot 10^{-9}$	$5,3 \cdot 10^{-7}$
¹³⁴ Cs	$9,4 \cdot 10^{-10}$	$3,3 \cdot 10^{-10}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$
¹³⁷ Cs	$6,5 \cdot 10^{-10}$	$2,3 \cdot 10^{-10}$	$6,9 \cdot 10^{-5}$

ловленный внешним облучением от загрязненной i -м радионуклидом почвы, определялся по формуле

$$R_{ext,si} = r_{ext,si} \cdot T_{stay} \cdot C_{soil,i} \quad (3)$$

где $R_{ext,si}$ – пожизненный риск для техногенного облучения в течение года от внешнего облучения, обусловленного содержащимся в почве i -м радионуклидом; $r_{ext,si}$ – риск при загрязнении почвы i -м радионуклидом в расчете на 1 Бк/г, взятый из табл. 1; T_{stay} – доля времени в расчете на год, проводимая на открытой местности без экранирования [3,14]; $C_{soil,i}$ – удельная активность радионуклида в почве, Бк/г.

Результаты анализа риска позволяют выполнить идентификацию факторов радиационного воздействия, произвести их ранжирование по уровням радиационного риска, рационально организовать радиационный мониторинг изучаемой территории, оптимизировать меры по обеспечению приемлемого уровня радиационного риска на изучаемой территории.

РЕЗУЛЬТАТЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА

Статистическая обработка данных производится на основе данных по радиоактивному загрязнению компонентов окружающей среды референтного объекта. Для этого формируются выборки из данных радиационного мониторинга за содержанием радионуклидов в компонентах природной среды в целом по зоне наблюдений и на фоновом участке. Данные измерений ниже чувствительности используемых методов анализа оставлялись в выборке со значением, равным половине порога обнаружения измеряемого радионуклида, если общее число таких данных не превышало половины от размера выборки. При большом количестве данных измерений ниже порога обнаружения (более половины от размера выборки) для исключения возможности занижения оценок риска им предписывалось значение, равное порогу обнаружения.

Данные мониторинга включают в себя результаты измерений содержания радионуклидов техногенного происхождения в различных компонентах природной среды: воздухе, почве, воде и продуктах питания [7].

Результаты статистической обработки данных радиационного мониторинга приземного воздуха в районах расположения АЭС представлены в табл. 2.

Стоит отметить, что при установлении годовых допустимых выбросов радиоактивных газов и аэрозолей в атмосферу в [13] принято, что основной вклад (свыше 98%) в дозу облучения населения в режиме нормальной эксплуатации АЭС вносят инертные радиоактивные газы (аргон, криптон, ксенон) и радионуклиды ¹³⁷Cs, ¹³⁴Cs, ⁶⁰Co, ¹³¹I. Нормирование и контроль активности других радионуклидов, обнаруживаемых в выбросах АЭС, считается нецелесообразным, что вносит элемент неопределенности при регламентации радиационного воздействия атомных станций на приземную атмосферу. При этом в ряде случаев выбросы ¹³⁷Cs являются мини-

Таблица 2

Среднегодовая активность радионуклидов в приземном воздухе в зонах наблюдения АЭС, Бк/м³

Радионуклид	Среднегодовая активность радионуклидов в воздухе зоны наблюдения		
	НВАЭС	БалАЭС	ЛАЭС
¹³⁷ Cs	$1,5 \cdot 10^{-6} (1,2 \cdot 10^{-6} - 1,6 \cdot 10^{-6})^*$	$3,6 \cdot 10^{-6} (2,3 \cdot 10^{-6} - 1,0 \cdot 10^{-5})$	$3,6 \cdot 10^{-6} (3,0 \cdot 10^{-6} - 4,4 \cdot 10^{-6})$
¹³⁴ Cs	$3,0 \cdot 10^{-7} (2,2 \cdot 10^{-7} - 4,0 \cdot 10^{-7})$	–	$5,2 \cdot 10^{-7} (4,3 \cdot 10^{-7} - 6,5 \cdot 10^{-7})$
⁶⁰ Co	$6,0 \cdot 10^{-7} (4,0 \cdot 10^{-7} - 7,0 \cdot 10^{-7})$	–	$4,1 \cdot 10^{-6} (3,2 \cdot 10^{-6} - 5,8 \cdot 10^{-6})$
⁵⁴ Mn	$3,5 \cdot 10^{-7} (3,0 \cdot 10^{-7} - 5,0 \cdot 10^{-7})$	–	$1,2 \cdot 10^{-6} (0,4 \cdot 10^{-6} - 2,2 \cdot 10^{-6})$
⁹⁰ Sr	–	$2,7 \cdot 10^{-7} (1,6 \cdot 10^{-7} - 4,6 \cdot 10^{-7})$	–

Примечание. 1. * – в скобках представлены 95%-ные доверительные интервалы. 2. Объемы выборок по активности радионуклидов в приземном воздухе в зонах наблюдения АЭС составляют $50 < n < 120$.

мальными по сравнению с другими техногенными радионуклидами, не учитываемыми в [13], например, по сравнению со ⁹⁰Sr.

Результаты анализа данных мониторинга удельной активности ¹³⁷Cs в почве показали: в районе НВАЭС среднегодовое содержания ¹³⁷Cs в почве в зоне наблюдения составляет 6,8 кБк/м² (6,0–7,5 кБк/м²), в контрольном пункте – 5,0 кБк/м² (4,3–5,7 кБк/м²) (объем выборок $n=9$); в районе БалАЭС – 0,27 кБк/м² (0,20–0,33 кБк/м²), в контрольном пункте – 0,17 кБк/м² (0,05–2,37 кБк/м²) и среднегодовое содержание ⁹⁰Sr – 0,24 кБк/м² (0,11–0,37 кБк/м²), в контрольном пункте – 0,15 кБк/м² (объем выборок $8 < n < 40$).

Статистический анализ уровней содержания ¹³⁷Cs в почве в зоне наблюдений ЛАЭС и на контрольном участке оказался невозможным, т.к. массивы данных с количеством значений $n < 8$ не дают достоверных результатов [8]. В связи с этим, в качестве исходных данных для оценки внешней дозы облучения населения от загрязненной радионуклидом поверхности земли использовались результаты анализа проб почвы за 2008 г., согласно которым содержание ¹³⁷Cs в зоне наблюдений ЛАЭС составляло 2,2 кБк/м², в контрольном пункте – 1,7 кБк/м².

Сельскохозяйственная продукция, являющаяся основой преобладающей доли пищевых рационов городского и сельского населения, непосредственно отражает уровни содержания радионуклидов в природных средах места ее производства (воздухе, почве, воде), что, в принципе, описывается в большинстве случаев линейными зависимостями, если протекающие процессы переноса радионуклидов в сельскохозяйственных цепях установившиеся. Таким образом, можно прогнозировать уровни радиоактивного загрязнения сельскохозяйственной продукции по результатам экспериментальных или расчетных оценок содержания радионуклидов в отдельных природных средах. Для оценки уровней радиационного риска от потребления местных продуктов питания (мясо, молоко, картофель и др.) концентрации ¹³⁷Cs рассчитывались на основе разницы содержания данного радионуклида в почвах зон наблюдения и контрольных участков станций по методике руководства ДВ-98. В расчетах также использовались коэффициент перехода продукта из суточного поступления i -го радионуклида через органы пищеварения, сут/кг; коэффициент накопления i -го радионуклида в p -ой растительной продукции, или отношение концентрации радионуклида в продукции и почве, безразмерный; поправочный коэффициент, учитывающий убыль содержания радионуклидов в p -ой продукции при подготовке ее к потреблению в пищу; годовое потребление p -го продукта, кг/год и др. [14].

Таблица 3

Дополнительные риски от отдельных путей радиационного облучения населения, проживающего в зонах наблюдения НВАЭС и ЛАЭС, год⁻¹

Путь облучения	Радио-нуклид	НВАЭС	ЛАЭС	БалАЭС
Потребление продуктов питания*	¹³⁷ Cs	$2,2 \cdot 10^{-7}$ ($1,5 \cdot 10^{-7}$ – $3,2 \cdot 10^{-7}$)	$6,6 \cdot 10^{-8}$ ($5,4 \cdot 10^{-8}$ – $8,2 \cdot 10^{-8}$)	$1,1 \cdot 10^{-8}$ ($0,8 \cdot 10^{-8}$ – $1,6 \cdot 10^{-8}$)
	⁹⁰ Sr	–	–	$1,8 \cdot 10^{-7}$ ($0,6 \cdot 10^{-7}$ – $2,5 \cdot 10^{-7}$)
Внешнее облучение от почвы	¹³⁷ Cs	$2,0 \cdot 10^{-7}$ ($1,2 \cdot 10^{-7}$ – $3,0 \cdot 10^{-7}$)	$5,0 \cdot 10^{-8}$ ($4,0 \cdot 10^{-8}$ – $6,5 \cdot 10^{-8}$)	$1,5 \cdot 10^{-9}$ ($0,7 \cdot 10^{-9}$ – $2,6 \cdot 10^{-9}$)
	⁹⁰ Sr	–	–	$1,0 \cdot 10^{-11}$ ($8,9 \cdot 10^{-12}$ – $2,2 \cdot 10^{-11}$)
Ингаляция	¹³⁷ Cs	$3,3 \cdot 10^{-12}$ ($2,5 \cdot 10^{-12}$ – $3,9 \cdot 10^{-12}$)	$7,0 \cdot 10^{-12}$ ($5,8 \cdot 10^{-12}$ – $7,9 \cdot 10^{-12}$)	$7,0 \cdot 10^{-12}$ ($5,9 \cdot 10^{-12}$ – $8,4 \cdot 10^{-12}$)
	¹³⁴ Cs	$8,3 \cdot 10^{-13}$ ($6,9 \cdot 10^{-13}$ – $9,2 \cdot 10^{-13}$)	$1,4 \cdot 10^{-12}$ ($1,0 \cdot 10^{-12}$ – $2,0 \cdot 10^{-12}$)	–
	⁶⁰ Co	$3,0 \cdot 10^{-12}$ ($2,0 \cdot 10^{-12}$ – $4,5 \cdot 10^{-12}$)	$2,1 \cdot 10^{-11}$ ($1,2 \cdot 10^{-11}$ – $2,6 \cdot 10^{-11}$)	–
	⁵⁴ Mn	$2,8 \cdot 10^{-13}$ ($1,8 \cdot 10^{-13}$ – $3,6 \cdot 10^{-12}$)	$9,5 \cdot 10^{-13}$ ($8,6 \cdot 10^{-13}$ – $1,2 \cdot 10^{-12}$)	–
	⁹⁰ Sr	–	–	$5,7 \cdot 10^{-12}$ ($4,7 \cdot 10^{-12}$ – $6,8 \cdot 10^{-12}$)
	Сумма	$6,6 \cdot 10^{-12}$ ($5,5 \cdot 10^{-12}$ – $7,6 \cdot 10^{-12}$)	$2,9 \cdot 10^{-11}$ ($1,9 \cdot 10^{-11}$ – $3,7 \cdot 10^{-11}$)	$1,3 \cdot 10^{-11}$ ($1,1 \cdot 10^{-11}$ – $1,5 \cdot 10^{-11}$)
Суммарный риск		$4,2 \cdot 10^{-7}$ ($2,7 \cdot 10^{-7}$ – $6,2 \cdot 10^{-7}$)	$1,3 \cdot 10^{-7}$ ($9,4 \cdot 10^{-8}$ – $1,5 \cdot 10^{-7}$)	$1,9 \cdot 10^{-7}$ ($0,7 \cdot 10^{-7}$ – $2,7 \cdot 10^{-7}$)

* – модельная оценка

Результаты расчетов суммарных дополнительных рисков от отдельных путей радиационного облучения населения

Анализ радиационного риска является составной частью управления радиационно-экологической безопасностью на основе радиационного мониторинга окружающей среды.

Результаты расчетов суммарных дополнительных рисков от отдельных путей радиационного облучения населения, проживающего в районе расположения станций, представлены в табл. 3 и на рис. 1.

Как видно из таблицы, основной вклад в суммарный дополнительный риск для населения, проживающего в районе расположения НВАЭС и ЛАЭС, вносят риски от потребления продуктов питания ($2,2 \cdot 10^{-7}$ и $6,6 \cdot 10^{-8}$ соответственно) и от внешнего облучения от поверхности почвы ($2,0 \cdot 10^{-7}$ и $5,0 \cdot 10^{-8}$ соответственно). Стоит отметить, что данные риски (включая суммарный дополнительный риск) несколько больше для НВАЭС по сравнению с ЛАЭС. Данное различие, вероятнее всего, обусловлено некорректно выбранной фоновой точкой в районе расположения

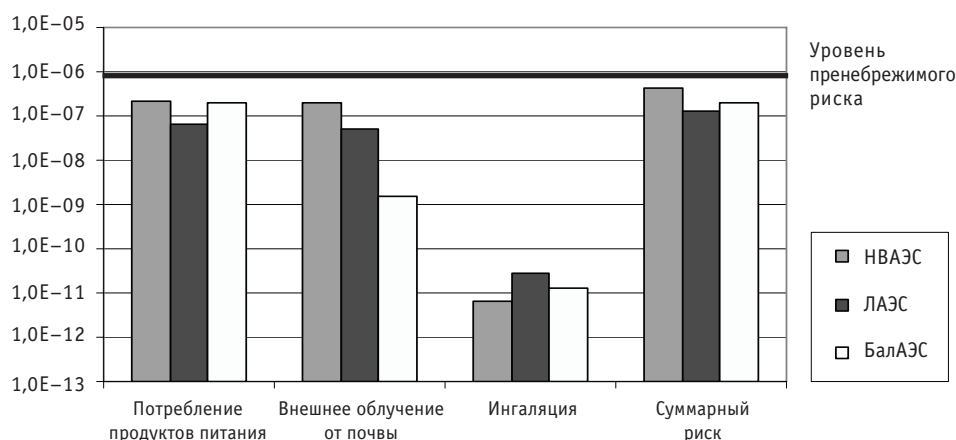


Рис. 1. Соотношение дополнительных рисков от отдельных путей радиационного облучения населения, проживающего в районе расположения АЭС

ЛАЭС, поскольку среднегодовые активности радионуклидов в выбросах на ЛАЭС превосходят аналогичные концентрации на НВАЭС (табл. 2). Стоит также учесть, что в г. Сосновый Бор Ленинградской области в пределах сравнительно небольшой промышленной зоны сосредоточены несколько значимых предприятий атомно-промышленного комплекса (ЛАЭС, Ленинградское отделение филиала «СЗТО» ФГУП РосРАО (бывший ЛСК «Радон»), частный завод по переплавке радиоактивных металлических отходов «Экомет-С»), что может оказать влияние на неоднородность загрязнения в районе расположения ЛАЭС.

Риски, обусловленные ингаляцией техногенных радионуклидов, незначительны и составляют менее 1% от суммарного дополнительного риска.

Суммарный дополнительный риск облучения населения, проживающего в районе расположения БалАЭС, составляет $1,9 \cdot 10^{-7}$, что ниже уровня пренебрежимого риска 10^{-6} . Стоит отметить, что основной вклад в суммарный дополнительный риск для населения вносит ^{90}Sr (95%). Анализ результатов расчета риска для населения показывает, что критическим путем формирования дополнительного риска является употребление сельскохозяйственной продукции, произведенной в зоне наблюдения БалАЭС.

Согласно результатам, представленным в табл. 3, все полученные значения дополнительных рисков от отдельных путей радиационного облучения населения, проживающего в районе расположения НВАЭС, БалАЭС и ЛАЭС, ниже уровня пренебрежимого риска, равного 10^{-6} и являющегося настолько низким, что не требуется никаких специальных мер по его снижению.

ВЫВОДЫ

С помощью методов математической статистики и методики анализа рисков была произведена сравнительная оценка радиационного риска для населения, проживающего в районах расположения Нововоронежской, Балаковской и Ленинградской АЭС, на основе данных мониторинга окружающей среды.

По итогам проведенной сравнительной оценки радиационных рисков в районах расположения АЭС установлено, что суммарные дополнительные риски облучения населения в зонах наблюдения НВАЭС, БалАЭС и ЛАЭС составляют $4,2 \cdot 10^{-7}$, $1,9 \cdot 10^{-7}$ и $1,3 \cdot 10^{-7}$ соответственно, что ниже уровня пренебрежимого риска 10^{-6} .

Основными путями формирования дополнительного риска являются употребление сельскохозяйственной продукции, произведенной в зонах наблюдения НВАЭС

и ЛАЭС (вклад в суммарный дополнительный риск составляет 52 и 57% соответственно), и внешнее облучение от почвы (вклад в суммарный дополнительный риск равен 48 и 43% соответственно). Стоит отметить, что полученные риски (включая суммарный дополнительный риск) несколько больше для НВАЭС по сравнению с аналогичными рисками для ЛАЭС. Возможно, причина данного различия заключается в некорректно выбранной фоновой точке в районе Ленинградской АЭС, и необходима оптимизация проведения радиационного мониторинга.

Для Балаковской АЭС критическим путем формирования дополнительного риска является употребление сельскохозяйственной продукции, произведенной в зоне наблюдения БалАЭС. Немаловажен тот факт, что основной вклад в суммарный дополнительный риск для населения вносит ^{90}Sr (95%). Стоит отметить, что в зонах наблюдения НВАЭС и ЛАЭС радиационный мониторинг ^{90}Sr в компонентах окружающей среды, практически, не производится. Следовательно, целесообразно включить ^{90}Sr в список контролируемых радионуклидов в компонентах ОС для того, чтобы в дальнейшем производить более точные оценки радиационных рисков для населения, проживающего в зонах наблюдений данных атомных станций.

Литература

1. Крышев И.И., Рязанцев Е.П. Экологическая безопасность ядерно-энергетического комплекса России. – М.: Издат, 2010.
2. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009. Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523 – 09. – М., 2009.
3. Проект рекомендаций. Методика анализа радиационных рисков на основе данных сети радиометрических наблюдений Росгидромета. – Обнинск: ГУ «НПО «Тайфун», 2010.
4. Крышев И.И., Сазыкина Т.Г., Крышев А.И., Санина К.Д. Анализ риска по данным радиоэкологического мониторинга // Атомная энергия. – 2009. – Т. 106. – Вып. 6. – С. 332–339.
5. Крышев И.И. Некоторые вопросы методологии анализа риска от радиоактивного загрязнения окружающей среды // Проблемы радиоэкологии и пограничных дисциплин. Вып. 12. – Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2009. – С. 128–150.
6. Крышев И.И., Сазыкина Т.Г., Крышев А.И., Санина К.Д., Дмитриева М.А. Анализ радиационного риска по данным сети радиометрических наблюдений Росгидромета (методические рекомендации) / Сборник докладов II Всероссийской научно-практической конференции «Состояние и развитие единой государственной системы контроля радиационной обстановки на территории Российской Федерации» (Обнинск, ГУ «НПО «Тайфун», 26–29 октября 2009 г.). – С. 436–450.
7. Росгидромет. ГУ «НПО «Тайфун». Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств. – Обнинск: Росгидромет, 2001–2009.
8. ГОСТ Р ИСО 5479-2002 «Статистические методы. Проверка отклонения распределения вероятностей от нормального распределения».
9. ГОСТ Р ИСО 50779-22-2005 «Статистические методы. Статистическое представление данных. Точечная оценка и доверительный интервал для среднего»
10. ГОСТ Р ИСО 16269-7-2004 «Статистические методы. Статистическое представление данных. Медиана»
11. EPA – Environmental Protection Agency. Soil Screening Guidance for Radionuclides: Technical Background Document. USEPA. Publication 9355.4-16, October 2000.
12. EPA – Environmental Protection Agency. Federal Guidance Report N13. Cancer Risk Coefficients for Environmental Exposure to Radionuclides. EPA 402-R-99-001. 1999.
13. СПАС-03. Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций. Санитарные правила и гигиенические нормативы СанПиН 2.6.1.24-03, 2003.
14. Руководство по установлению допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферу (ДВ-98). – М.: Госкомэкология России, Минатом России, 1999.

Поступила в редакцию 17.01.2011

УДК 504.064.36:574

Comparative assesment of radiation risk in regions of the location of Novovoronezh, Balakovo and Leningrad Nuclear Power Plants \ M.A. Dmitrieva, A.I. Kryshev, K.D. Sanina; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yademaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 8 pages, 3 tables, 1 illustration. – References, 14 titles.

Radiation monitoring data of environment near reference objects – Novovoronezh Nuclear Power Plant (NVAES), Balakovo Nuclear Power Plant (BALAES) and Leningrad Nuclear Power Plant (LAES) are summarized in this work (study). Methodology of risk analysis concerning radiation contamination of environment is approved. Results of statistic analysis of radiation monitoring data from different exposure pathways of population, resident in regions of the location NPP are given in this paper. There are also guidelines (recommendations) for optimization of radiation monitoring.

УДК 504.064

Comparative Environmental Impacts of Energy Generating Technologies and Ecological Incentives for the Nuclear Power Development \ V.I. Usanov, V.S. Kagramanayan, E.N. Rachkova; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yademaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 8 pages, 2 tables, 1 illustration. – References, 5 titles.

The model of comparative environmental impacts of energy generating technologies is discussed in the paper. It allows making quantitative assessment of the related impacts and exploring advantages and weak points of the energy generating source under consideration. The model is used for the comparative analysis of the full-energy-chain electricity production options with normalization to natural resources of Russia. The study shows that use of coal and oil fuel cycles give the highest ecological impact; gas fuel cycle and wind take intermediate position; solar and nuclear energy sources were found to be the most ecologically clear options. Under normal operation, the centre of the nuclear fuel cycle environmental impact is displaced to the domain of non-organic resources while other cycles impact biosphere more directly. It's an important result since one can expect more strict impact limitations in the future just in respect of biosphere. The study concludes that health and environment protection are important incentives for development of nuclear power.

УДК 621.039.534

An Experimental Study of Throttles Hydrodynamics in the Mediums of Circulating Water and Lead Coolants \ A.V. Beznosov, M.A. Antonenkov, T.A. Bokova, M.V. Iarmonov, K.A. Makhov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yademaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 8 pages, 1 table, 9 illustrations. – References, 2 titles.

The implemented experimental study and comparison of water and high temperature ($T=400 - 500^{\circ}\text{C}$) liquid metal flows hydraulic characteristics for throttles $d = 3,0 \text{ mm}$, $l = 5,0 \text{ mm}$; $d = 4,0 \text{ mm}$, $l = 5,0 \text{ mm}$; $d = 6,0 \text{ mm}$, $l = 5,0 \text{ mm}$; $d = 4,0 \text{ mm}$, $l = 3,0 \text{ mm}$; $d = 4,0 \text{ mm}$, $l = 7,0 \text{ mm}$ for the average stream speed in narrow sections from 1 to 30 m/s with the saturating of lead coolant with oxygen.

Such types of throttles are used in hydrostatic journal bearings (for its operability estimation) in the leading circulating pumps for innovative fast nuclear reactors that are cooled with heavy liquid metals, or in ejection system for HLHC refinement etc.

Results that are received shows that hydraulic characteristics of lead coolant in throttles in certain cases (back-supporting pressure after a throttle, the throttles geometry) differs considerably from those of water stream and its values that are received by the theoretical estimation. It makes for inadmissibility to use existing design formulas for hydrostatic journal bearings designing concerning lead and probably lead-bismuth coolants.

УДК 621.039.553

Calculation of the Conjugated Heat Transfer in Pipe by CFD-Method \ A.A. Kazantsev, V.R. Anisonyan; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yademaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 11 pages, 4 illustrations. – References, 22 titles.

The results of 3D calculations with use of computational fluid dynamics are presented. Comparison of the results is carried out on the basis of program package OpenFOAM applied to the standard