

УДК 004.65

DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2025.2.06>

Оригинальная статья / Original paper

Разработка базы региональных радиоэкологических данных для районов размещения АЭС на территории Российской Федерации

В.В. Кречетников, И.Е. Титов, С.И. Спиридонов, Р.А. Микаилова

НИЦ «Курчатовский институт» – ВНИИРАЭ,

249035 Россия, Калужская обл., г. Обнинск, Киевское шоссе, д. 1, к. 1

Реферат. Представлено описание разработанной базы данных, характеризующей регионы расположения АЭС РФ. Данные предназначены для расчета накопления стационарных радионуклидов в агропродукции и дозовых нагрузок на население при штатном функционировании АЭС и для сценариев проектных и запроектных аварий. Созданная база содержит 13202 записи, характеризующие 10 атомных станций Российской Федерации, а также районов их размещения в рамках двух основных информационных блоков. Первый блок содержит информацию о планируемых, фактических и аварийных выбросах АЭС, второй – данные, характеризующие метеорологические условия, особенности агроэкосистем и содержание в их компонентах естественных и искусственных радионуклидов, параметры миграции радиоизотопов, рационы питания населения, фенологические данные для различных сельскохозяйственных культур, урожайность и почвенные характеристики, ежедневное количество фуража и воды, потребляемое сельскохозяйственными животными, время пастбищного выпаса и количество потребляемых кормов. В качестве примера использования базы данных был выполнен анализ радиоэкологической обстановки, формируемой атмосферными выбросами Курской АЭС. Дозы облучения населения рассчитаны с помощью программного пакета CROM и информации, собранной в базе данных. В статье приведены результаты оценки дозовых нагрузок на разные возрастные группы населения в период с 2002 по 2022 гг. Оценены вклады различных путей и радионуклидов в годовую эффективную дозу облучения населения. Показано, что суммарная годовая доза облучения населения от атмосферных выбросов существенно ниже предела годовой эффективной дозы, обоснованного в НРБ-99/2009, и минимального значения квоты на облучение населения. Разработанная база данных будет пополняться как актуальной информацией, полученной в ходе работ по мониторингу исследуемых территорий и ежегодных отчетов по атмосферным выбросам АЭС, так и расчетными данными, полученными в ходе модельных оценок.

Ключевые слова: атомные электростанции, радиоактивные выбросы, база данных, региональные параметры, радиоэкологические модели, дозовая нагрузка на население, вклады путей облучения.

Для цитирования: Кречетников В.В., Титов И.Е., Спиридонов С.И., Микаилова Р.А. Разработка базы региональных радиоэкологических данных для районов размещения АЭС на территории Российской Федерации. *Известия вузов. Ядерная энергетика*. 2025;2:58–70. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2025.2.06>

Введение

Предприятия ядерного топливного цикла оказывают многофакторное воздействие на окружающую среду, однако повышенное внимание общественности приковано к радиационному фактору, специфичному для ядерного энергопроизводства, что подтверждается публикациями МАГАТЭ в области радиационной безопасности и экологического регулирования [1]. Следует отметить, что во многих случаях ядерно-энергетические предприятия (ЯЭП) расположены в районах с интенсивным ведением сельскохозяйственного производства. Выбросы в окружающую среду радионуклидов, включающихся в биологические цепочки миграции, могут привести к дополнительному по отношению к естественному фону облучению населения.

Значимую роль в формировании дозовой нагрузки может играть внутреннее облучение от радионуклидов, содержащихся в агропродукции. Так, например, расчеты на основании данных по атмосферным выбросам перспективного реактора ВВЭР-1200 показали, что основной вклад в дозу облучения от «станционных» радионуклидов вносит ^{14}C , содержащийся в продукции растениеводства и животноводства [2]. В этой связи организация мониторинга агроэкосистем в регионах размещения ЯЭП является неотъемлемой предпосылкой обеспечения экологической безопасности населения на прилегающих территориях [3, 4].

Экологический, в том числе агроэкологический и радиоэкологический мониторинг должен охватывать не только оценку текущего состояния, но и прогностическую оценку состояния окружающей среды. Для выполнения прогностических расчетов необходимы математические модели [5], реализованные в виде программных средств и позволяющие рассчитать содержание загрязняющих веществ в компонентах экосистем и сельскохозяйственной продукции.

С помощью моделей можно идентифицировать основные дозообразующие радионуклиды, перечень которых должен учитываться при разработке регламента радиоэкологического мониторинга (РЭМ). Следует подчеркнуть, что для различных атомных электростанций (и других ЯЭП) радиоэкологическая значимость отдельных радионуклидов может варьироваться [2, 6]. В этой связи расчетные оценки целесообразно выполнять с учетом характеристик выбросов конкретных ядерно-энергетических предприятий. Кроме того, для параметризации моделей необходимы данные, отражающие специфику регионов расположения ЯЭП. Для комплексной оценки радиоэкологической обстановки в районе размещения ЯЭП необходимо учитывать и данные, накопленные в ходе ранее проведенных мониторинговых исследований.

Для накопления, анализа и использования обширного информационного массива данных (включающего в себя характеристики выбросов ЯЭП, особенности региона, данные РЭМ) целесообразно применять современные методы обработки информации на основании систем управления базами данных.

Целью работы, результаты которой изложены в статье, является создание базы региональных радиоэкологических данных (БРРад) для районов размещения АЭС на территории Российской Федерации. Этапы достижения поставленной цели включают в себя

- сбор, систематизацию и анализ планируемых и фактических радиоактивных выбросов АЭС РФ, а также выбросов для сценариев проектных и запроектных аварий;
- сбор, систематизацию и анализ общих региональных данных (метеорологические условия, региональные параметры для агросферы и т.д.);
- формирование структуры базы данных регионально-специфической информации для районов расположения АЭС РФ, разработку БРРад и ее информационное наполнение.

Назначение и область применения базы данных

Необходимым условием функционирования ядерно-энергетических предприятий является соблюдение нормативных ограничений по дозовой нагрузке на население. Оценка соблюдения дозовой квоты [7] выполняется на основании данных о радиоактивных выбросах при эксплуатации атомных электростанций. Результаты прогностических расчетов доз облучения населения для сценариев проектных и запроектных аварий на АЭС [8] сопоставляются со значениями аварийных дозовых критериев [9]. Предельное содержание радионуклидов в продуктах питания населения для различных радиоэкологических ситуаций изложены в нормативной документации [9, 10].

Для расчета доз облучения населения и содержания радионуклидов в агропродукции на основании данных, характеризующих выбросы АЭС, используются модели, интегрированные в рамках программных средств. Так оценка дозовых нагрузок при штатном функционировании предприятий ядерной энергетики может быть выполнена с помощью программного пакета CROM, разработанного на основании моделей [5]. Этот пакет рассматривается в качестве справочного кода (reference code) для моделей МАГАТЭ [11]. Для радиоэкологически значимых радионуклидов ^{14}C и ^3H целесообразно использовать расчетные модули, учитывающие рацион питания населения в регионе расположения АЭС, в отличие от консервативного «равновесного» подхода [5].

Для прогнозирования воздействия аварийных выбросов АЭС на население применяется разработанное в рамках международного сотрудничества программное средство RODOS [12]. В этот программный комплекс включены модели рассеивания примеси в атмосфере, миграции радионуклидов по пищевым цепочкам, а также модели для оценки эффективности защитных мероприятий. Дозовые нагрузки на население оцениваются по всем путям облучения – ингаляционное и пероральное поступление радиоактивных веществ в организм человека, внешнее облучение от облака и загрязненной поверхности почвы.

Модели, интегрированные в указанные программные средства, должны быть параметризованы на основании данных, учитывающих специфику регионов размещения АЭС. Для хранения значений широкого спектра региональных параметров удобным инструментом являются базы данных, позволяющие анализировать информацию и преобразовывать данные в необходимый вид для дальнейшего использования при модельных расчетах.

Проведен анализ собранной информации, характеризующей регионы размещения АЭС, включая результаты радиоэкологического обследования и данные о радиоактивных выбросах АЭС при штатной работе и для сценариев проектных и запроектных аварий. На основании сопоставления результатов анализа и запроса на параметрическое обеспечение упомянутых выше программных средств (ПС) была создана структура БРРАД для районов размещения АЭС на территории Российской Федерации.

БРРАД позволяет выполнять систематизацию, объединение и статистическую обработку собранных данных, а также использовать их в модельных расчетах. В таблицах 1–3 приведено описание региональных характеристик, значения которых необходимы для параметризации моделей, интегрированных в ПС CROM и RODOS. Описание всех блоков информации, входящей в БРРАД, представлено на рис. 1.

Таблица 1

**Описание метеорологических характеристик
региона размещения АЭС, характеристик источника
выброса**

Описание	Единицы измерения
Скорость выброса i -го радионуклида	Бк/с
Среднее значение скорости ветра	м/с
Высота выброса	м
Роза ветров	%
Количество осадков	мм/год

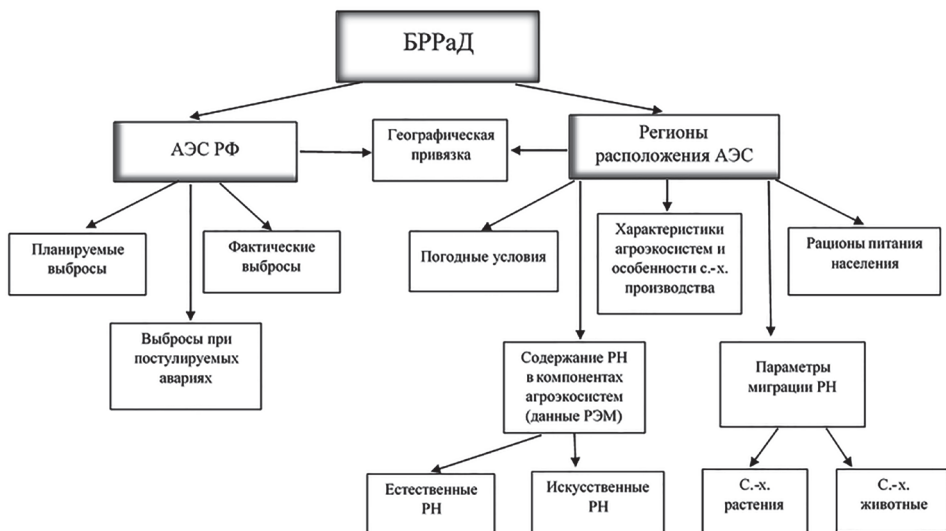


Рис. 1. Информационные блоки в составе БРРАД

Таблица 2

Описание региональных параметров, относящихся к растениеводческому направлению

Описание	Единицы измерения
Коэффициент накопления радионуклидов в растениях	(Бк/кг)/ (Бк/кг)
Сроки посева	дата
Сроки всходов	дата
Время сбора урожая	дата
Период времени, в течение которого растения подвергаются загрязнению	сут
Интервал времени между сбором урожая и потреблением растительного продукта	сут
Доля <i>i</i> -го продукта местного производства в рационе населения	%
Годовое потребление <i>i</i> -го продукта населением	кг/год
Поверхностная плотность корневой зоны сухой почвы	кг/м ²
Урожайность пастбищной травы	ц/га
Индекс листовой поверхности	
Глубина корневой зоны	см
Плотность почв	кг/м ³
Содержание воды в почве	%

Таблица 3

Описание региональных параметров, относящихся к животноводческому направлению

Описание	Единицы измерения
Доля активности радионуклида, которая переносится в каждый литр молока или килограмм мяса, поступающей в животное с фуражом и водой	сут/кг(л)
Ежедневное количество фуража, потребляемое животным, дающим молоко, сухой вес	кг/сут
Ежедневное количество фуража, потребляемое животным, дающим мясо, сухой вес	кг/сут
Ежедневное количество воды, потребляемое животным	л/сут
Интервал времени между убоем животного и потреблением мяса	сут
Интервал времени между дойкой животного и потреблением молока	сут
Доля года потребления животным свежей пастбищной растительности	%
Доля <i>i</i> -го продукта местного производства в рационе населения	%
Годовое потребление <i>i</i> -го продукта населением	кг/год
Количество различных кормов, потребляемых животным	кг
Рационы питания животных в зависимости от времени года	кг/сут

Структура базы региональных радиоэкологических данных для районов размещения АЭС на территории Российской Федерации

База региональных радиоэкологических данных для районов размещения АЭС на территории Российской Федерации создана с использованием системы управления базами данных (далее – СУБД) MS Access-2016. Объектами базы данных являются таблицы для хранения информации, запросы, формы и макросы. СУБД Access обеспечивает все возможности обработки и управления данными при работе с большими объемами информации. Структура БПРад представлена на рис. 2.

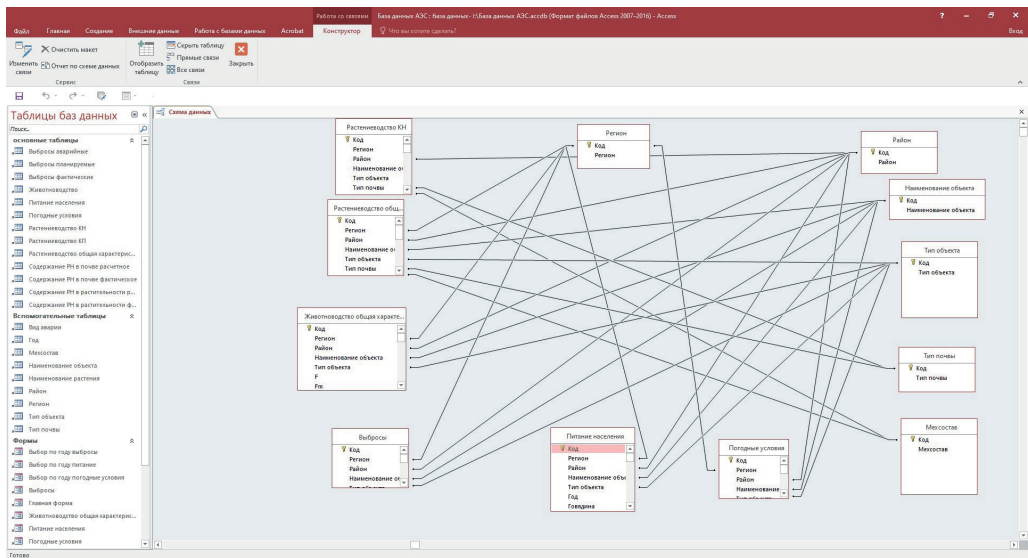


Рис. 2. Логическая структура базы региональных радиоэкологических данных для районов размещения АЭС на территории Российской Федерации

Разработанная реляционная база данных включает в себя 22 таблицы, которые связаны с помощью первичных и внешних ключей; первый из них определяет однозначные неповторяющиеся записи во вспомогательных таблицах, а второй ключ связывает их с основными таблицами и позволяет сделать выбор значений из выпадающего списка.

В базу данных занесена информация по всем АЭС Российской Федерации (кроме плавучей ПАЭС). Таблица «Погодные условия» содержит расширенный объем данных о региональных характеристиках погодных условий. Основные таблицы «Выбросы» (аварийные, фактические, планируемые) содержат информацию о скорости выброса радионуклидов для каждого конкретного объекта. Основные таблицы «Растениеводство КН» и «Растениеводство КП» содержат информацию о коэффициентах накопления и перехода в сельскохозяйственных растениях 40-ка радионуклидов, присутствующих в выбросах АЭС РФ.

В основной таблице «Растениеводство общая характеристика» содержится информация об основных региональных параметрах растениеводства и характеристиках

Управление запросами, поиск информации и редактирование осуществляются с помощью основных форм – «Главной формы» и «Формы навигации», изображенных на рис. 3. Основная форма требуется для подтверждения начала работы и запуска формы навигации, которая позволит выбирать из набора созданных форм для просмотра, редактирования и добавления данных.

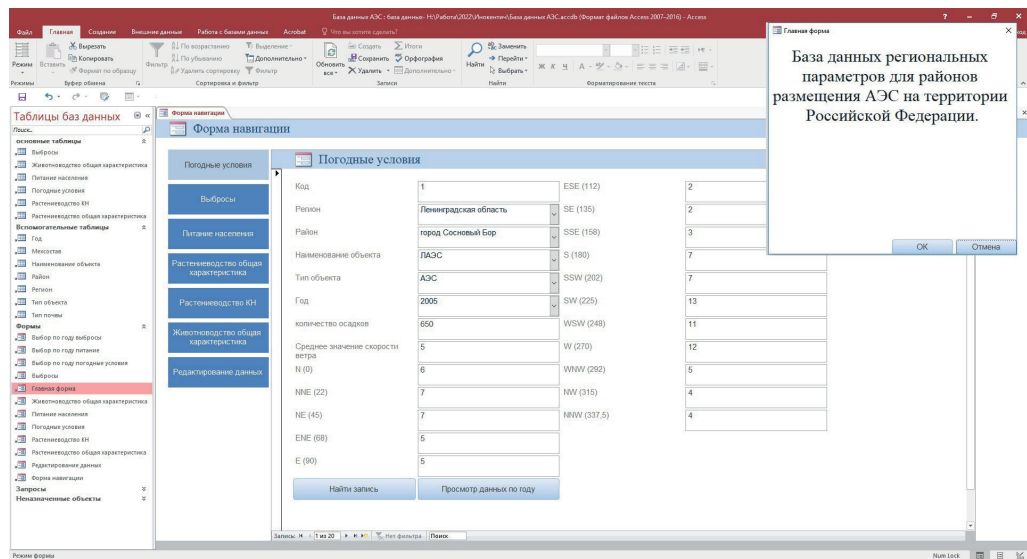


Рис. 3. «Главная форма» для работы с базой данных и «Форма навигации»

Анализ радиоэкологической обстановки на основании собранной информации в БРРАД

Информация, включенная в базу региональных данных, использована для анализа радиоэкологической обстановки, формируемой атмосферными выбросами Курской АЭС (КуАЭС). Курская АЭС – крупнейшая в Центральном Черноземье станция по производству электроэнергии, обеспечивающая около 90% промышленного энергопотребления Курской области. Особенностью КуАЭС является то, что она – одна из первых атомных электростанций с реактором РБМК-1000.

Оценка доз облучения населения от атмосферных выбросов КуАЭС проводилась с помощью программного пакета CROM [13]. Дозовые нагрузки от ^3H и ^{14}C в CROM рассчитываются на основании равновесных моделей; по этой причине для оценки доз облучения населения от этих радионуклидов использовались подходы, описанные в [14, 15]. Расчеты выполнялись на основании точечного консервативного подхода с использованием усредненных многолетних данных по выбросам АЭС с 2002 по 2022 гг. В рамках этого подхода расчеты проводились для «точки» на границе санитарно-защитной зоны АЭС. Газоаэрозольные радиоактивные выбросы в атмосферу на КуАЭС осуществляются через вентиляционные трубы высотой 120 метров.

Комплексная оценка радиационного воздействия атмосферных выбросов Курской АЭС на население была проведена для разных возрастных групп населения, проживающего в районе расположения КуАЭС, с учетом региональных параметров, представленных в БРРАД.

Годовая эффективная доза облучения взрослого населения от атмосферных выбросов Курской АЭС будет возрастать с 2,74 до 2,77 мкЗв/год за период с 2002 по 2022 гг. работы станции. Возрастную группу «дети 1–2 года» с наибольшей дозой облучения можно определить как «критическую». Годовая дозовая нагрузка для этой группы изменяется от 4,57 мкЗв в 2002 г. до 4,6 мкЗв в 2022 г.

Был выполнен прогноз вкладов различных путей облучения и радионуклидов в годовую эффективную дозу населения на 2022 год. Так внутреннее облучение будет вносить основной вклад в дозовую нагрузку на детей 1–2 лет (рис. 4а). Годовая эффективная доза взрослого населения формируется преимущественно за счет

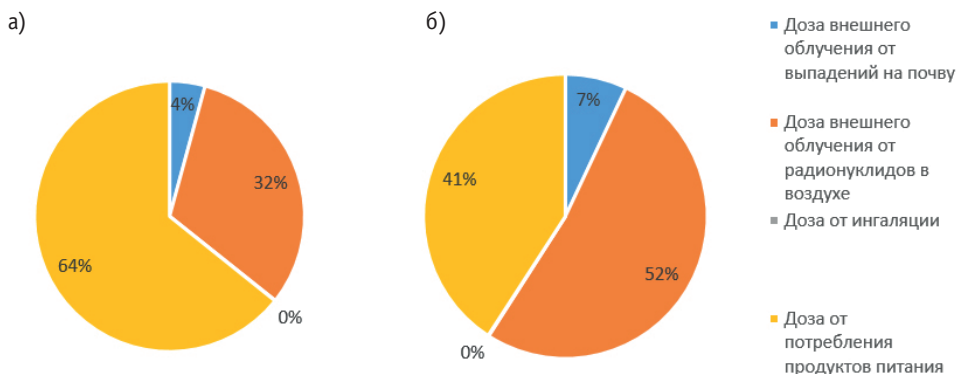


Рис. 4. Вклад путей облучения в годовую дозу в 2022 г., %: а) детей 1–2 лет; б) взрослого населения

внешнего облучения (рис. 4б). Основным дозообразующим радионуклидом для детей 1–2 лет является ^{131}I (рис. 5а). Дозовая нагрузка на взрослое население формируется, в основном, за счет ^{131}I , ^{88}Kr , ^{41}Ar и ^{14}C .

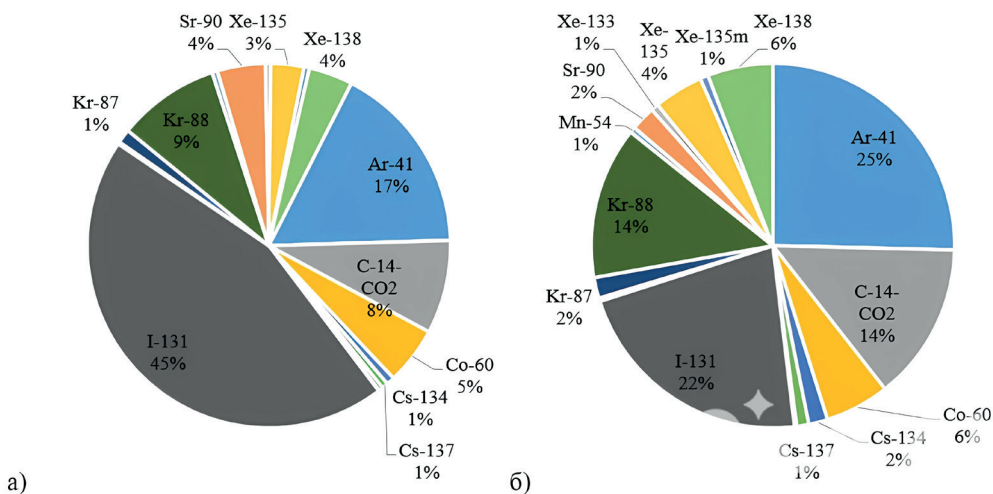


Рис. 5. Вклад отдельных радионуклидов в годовую дозу облучения в 2022 г., %: а) детей 1–2 лет; б) взрослого населения

Суммарная годовая доза облучения населения от атмосферных выбросов Курской АЭС составляет до 0,5% от предела годовой эффективной дозы 1 мЗв [9] и не превышает нижней границы дозы облучения населения от газоаэрозольных выбросов в режиме нормальной эксплуатации АЭС (10 мкЗв в год) [7].

Заключение

Для прогнозирования дозовых нагрузок на население, проживающего в зонах расположения атомных электростанций, используются модели, интегрированные в рамках современных программных средств. Эти программные средства могут использоваться для анализа вкладов различных путей облучения, оценки накопления радионуклидов в компонентах окружающей среды и агропродукции и т.д. При этом радиоэкологические модели должны быть параметризованы на основании данных, учитывающих специфику регионов размещения АЭС.

Разработана база региональных радиоэкологических данных (БРРАД) для районов размещения АЭС на территории Российской Федерации. Информация, содержащаяся в БРРАД, включает в себя результаты радиоэкологического обследования и данные о радиоактивных выбросах АЭС при штатной работе и для сценариев проектных и запроектных аварий. Этот инструмент обеспечивает хранение, анализ накопленной информации и преобразование данных в необходимый вид для дальнейшего использования при модельных расчетах.

В качестве примера использования БРРАД выполнен расчет доз облучения населения от атмосферных выбросов Курской АЭС в период с 2002 по 2022 гг. В статье представлены некоторые результаты расчетных оценок, касающиеся вкладов путей

облучения и отдельных радионуклидов в дозовую нагрузку на различные группы населения. Показано, что суммарная годовая доза облучения населения от атмосферных выбросов КуАЭС существенно ниже предела годовой эффективной дозы, обоснованного в НРБ-99/2009, и минимального значения квоты на облучение населения, прописанного в СП АС-03.

Литература

1. IAEA. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3. Vienna, 2014.
2. Спиридонов С.И., Микаилова Р.А., Нуштаева В.Э. К вопросу об оценке соблюдения квоты на облучение населения от газоаэрозольных выбросов АЭС. *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2021;61(6):667–673. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869803121060114>
3. Кузнецов В.К., Цыгвинцев П.Н., Санжарова Н.И., Панов А.В. Анализ результатов радиоэкологического мониторинга в регионе размещения Ленинградской АЭС. *Радиация и риск*. 2021;30(2):89–100. DOI: <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2021-30-2-89-100>
4. Кузнецов В.К., Панов А.В., Санжарова Н.И., Исамов Н.Н., Андреева Н.В., Гешель И.В., Сидорова Е.В. Анализ результатов радиационно-экологического мониторинга в регионе размещения Курской АЭС. *Радиационная гигиена*. 2020;13(2):19–30. DOI: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2020-13-2-19-30>
5. Generic models for use in assessing the impact of discharges of radioactive substances to the environment. Safety Reports Series No.19. Vienna, International Atomic Energy Agency, 2001, 229 p.
6. Vasyanovich M.E., Ekinin A.A., Vasilyev A.V., Kryshev A.I., Kosykh I.V., Kapustin I.A. Determination of radionuclide composition of the Russian NPPs atmospheric releases and dose assessment to population. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2019;208–209:106006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.106006>
7. Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций (СП АС-03). Санитарные правила и гигиенические нормативы СанПин 2.6.1.24-03. М.: Минздрав России, 2003, 41 с.
8. Спиридонов С.И., Микаилова Р.А., Карпенко Е.И. Радиоэкологическая оценка реакторных установок на основе сценариев проектных и запроектных аварий. *Радиация и риск*. 2024;33(1):55–67. DOI: <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2024-33-1-55-67>
9. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009, 100 с.
10. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. СанПиН 2.3.2.1078-01. 2002, 269 с.
11. Stocki T.J., Telleria D.M., Bergman L. et al. Reference methodologies for radioactive controlled discharges an activity within the IAEA's program environmental modelling for radiation safety II (EMRAS II). *Radioprotection*. 2011;46(6):S687–S693. DOI: <https://doi.org/10.1051/radiopro/20116743s>
12. Ievdin I., Trybushnyi D., Zheleznyak M., Raskob W. RODOS re-engineering: aims and implementation details. *Radioprotection*. 2010;45(5.Supplément):S181–S189. DOI: <https://doi.org/10.1051/radiopro/2010024>
13. Robles B., Suárez A., Mora J.C., Cancio D. Modelos implementados en el código CROM (Código de cRiba para evaluaciOn de iMpacto). Madrid, 2007, 60 p. (Исп.).
14. Крышев А.И., Крышев И.И., Васянович М.Е., Екидин А.А., Капустин И.А., Мурашова Е.Л. Оценка дозы облучения населения от выброса ^{14}C АЭС с РБМК-1000 и ЭГП-6. *Атомная энер-*

гия. 2020;128(1):46–52. URL: <https://j-atomicenergy.ru/index.php/ae/article/view/3143> (дата обращения 01.11.2024).

15. Крышев А.И., Васянович М.Е., Екидин А.А., Филатов Ю.Н., Мурашова Е.Л. Поступление трития в атмосферу с выбросами АЭС с ВВЭР и оценка дозы облучения населения. *Атомная энергия*. 2020;128(6):333–337. URL: <https://j-atomicenergy.ru/index.php/ae/article/view/3194> (дата обращения 01.11.2024).

Поступила в редакцию 11.11.2024

После доработки 27.05.2025

Принята к опубликованию 10.06.2025

Авторы

Кречетников Виктор Владимирович, научный сотрудник,

E-mail: viktor.krechetnikov@mail.ru

Титов Игорь Евгеньевич, научный сотрудник,

E-mail: titan13_08@mail.ru

Спиридонов Сергей Иннокентьевич, главный научный сотрудник, д.биол.н.,

E-mail: spiridonov.si@gmail.com

Микаилова Рена Александровна, научный сотрудник,

E-mail: renchik_vhi@mail.ru

UDC 004.65

Development of a Regional Radioecological Database for Nuclear Power Plant Location Areas in the Russian Federation

Krechetnikov V.V., Titov I.E., Spiridonov S.I., Mikailova R.A.

NRC “Kurchatov Institute” – RIRAE,

1, bld. 1, Kievskoye Sh., 249035 Obninsk, Kaluga reg., Russia

Abstract

The article presents a description of the developed database containing up-to-date information on a wide range of regional parameters that allow, on their basis, to assess both the current radiological situation in NPP locations and predictive assessments during normal operation, design basis and beyond design basis accidents. The created database contains regional radioecological data for all nuclear power plants in the Russian Federation within the framework of two main information blocks. The first block contains information on planned, actual and emergency emissions from NPPs, the second block contains data characterizing meteorological conditions, features of agroecosystems and the content of natural and artificial radionuclides in their components, parameters of radionuclide migration, and diets of the population. As an example of using the database, an analysis of the radioecological situation formed by atmospheric emissions from the Kursk NPP was performed. The population exposure doses were calculated using the CROM software package and information collected in the database. The article presents the results of assessing dose loads on different age groups of the population in the period from 2002 to 2030. The contributions of various exposure routes and radionuclides to the annual effective dose of radiation to the population are estimated. It is shown that the total annual dose of public exposure from atmospheric emissions is significantly lower than the limit of the annual effective dose justified in NRB-99/2009 and the minimum value of the quota for public exposure. The

developed database will be updated with both up-to-date information obtained during the monitoring of the studied territories and annual reports on atmospheric emissions of nuclear power plants, as well as calculated data obtained during model calculations.

Keywords: nuclear power plants, radioactive emissions, database, regional parameters, radioecological models, dose load on the population, contributions of exposure routes.

For citation: Krechetnikov V.V., Titov I.E., Spiridonov S.I., Mikailova R.A. Development of a Regional Radioecological Database for Nuclear Power Plant Location Areas in the Russian Federation. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika*. 2025;2:58–70. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2025.2.06> (in Russian).

References

1. IAEA. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3. Vienna, 2014.
2. Spiridonov S.I., Mikailova R.A., Nushtayeva V.E. About the assessment of radiation doses for the population from NPP atmospheric releases within the compliance with the dose constraint for a single facility. *Radiation biology. Radioecology*. 2021;61(6):667–673. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869803121060114> (in Russian).
3. Kuznetsov V.K., Tsygvintsev P.N., Sanzharova N.I., Panov A.V. Radioecological monitoring of the area surrounding the Leningrad NPP: results evaluation. *Radiation and Risk*. 2021;30(2):89–100. DOI: <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2021-30-2-89-100> (in Russian).
4. Kuznetsov V.K., Panov A.V., Sanzharova N.I., Isamov N.N., Andreeva N.V., Geshel I.V., Sidorova E.V. The analysis of radioecological monitoring results in the vicinity of the Kursk Nuclear Power Plant. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2020;13(2):19–30. DOI: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2020-13-2-19-30> (in Russian).
5. Generic models for use in assessing the impact of discharges of radioactive substances to the environment. Safety Reports Series No.19. Vienna, International Atomic Energy Agency, 2001, 229 p.
6. Vasyanovich M.E., Ekidin A.A., Vasilyev A.V., Kryshev A.I., Kosykh I.V., Kapustin I.A. Determination of radionuclide composition of the Russian NPPs atmospheric releases and dose assessment to population. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2019;208–209:106006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.106006>
7. Sanitary rules for the design and operation of nuclear power plants (SP AC-03). Sanitary rules and hygienic standards SanPiN 2.6.1.24-03. Moscow, Ministry of Health of Russia, 2003, 41 p. (in Russian).
8. Spiridonov S.I., Mikailova R.A., Karpenko E.I. Radioecological assessment of reactor installations based on scenarios of design basis and beyond design basis accidents. *Radiation and Risk*. 2024;33(1):55–67. DOI: <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2024-33-1-55-67> (in Russian).
9. Radiation Safety Standards (NRB-99/2009). Sanitary and Epidemiological Rules and Standards. Moscow, Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2009, 100 p. (in Russian).
10. Sanitary and epidemiological rules and regulations. SanPiN 2.3.2.1078-01. 2002, 269 p. (in Russian).
11. Stocki T.J., Telleria D.M., Bergman L., Proehl G., Amado V., Bonchuk I., Boyer P., Chyly P., Curti A., Heling R., Kliaus V., Krajewski P., Latouche G., Lauria D.C., Murlon C., Newsome L., Sági L., Smith J. Reference methodologies for radioactive controlled discharges an activity within the IAEA's program environmental modelling for radiation safety II (EMRAS II). *Radioprotection*. 2011;46(6):S687–S693. DOI: <https://doi.org/10.1051/radiopro/20116743s>

12. Ievdin I., Trybushnyi D., Zheleznyak M., Raskob W. RODOS re-engineering: aims and implementation details. *Radioprotection*. 2010;45(5.Supplément):S181–S189. DOI: <https://doi.org/10.1051/radiopro/2010024>
13. Robles B., Suárez A., Mora J.C., Cancio D. Models implemented in the CROM code (Crom code for impact assessment). Madrid, 2007, 60 p. (in Spanish).
14. Kryshev A.I., Kryshev I.I., Vasyanovich M.E., Ekin A.A., Kapustin I.A., Murashova E.L. Population irradiation dose assessment for ^{14}C emissions from NPP with RBMK-1000 and EGP-2 Reactors. *Atomic energy*. 2020;128(1):53–59. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10512-020-00650-2>
15. Kryshev A.I., Vasyanovich M.E., Ekin A.A., Filatov Yu.N., Murashova E.L. Tritium Entry Into the Atmosphere with Emissions from NPP-VVER and Population Irradiation Dose Assessment. *Atomic energy*. 2020;128(6):362–367. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10512-021-00703-0>

Authors

Viktor V. Krechetnikov, Researcher,
E-mail: viktor.krechetnikov@mail.ru

Igor E. Titov, Researcher,
E-mail: titan13_08@mail.ru

Sergey I. Spiridonov, Chief Researcher, Dr. Sci. (Biology),
E-mail: spiridonov.si@gmail.com

Rena A. Mikailova, Researcher,
E-mail: renchik_vhi@mail.ru