DOI: 10.25283/2587-9707-2026-1-88-95 УДК 621.039

О ПОДХОДЕ К ОЦЕНКЕ РАДИАЦИОННЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ ИНЦИДЕНТОВ С РАДИОНУКЛИДНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ, ВЫШЕДШИМИ ИЗ-ПОД РЕГУЛИРУЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

С. Н. Красноперов

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, Москва

Статья поступила в редакцию 19 января 2026 г.

В статье рассмотрен подход к оценке радиационных последствий инцидентов с радионуклидными источниками (РИ), вышедшими из-под регулирующего контроля, на основе разработки метода сквозного моделирования, включающего комплексное последовательное рассмотрение процессов, связанных с высокотемпературным воздействием на радионуклидные источники, в том числе их непреднамеренное плавление в тиглях вместе с металлоломом, выход из расплава образующихся радиоактивных аэрозолей и перенос в системе производственной вентиляции плавильных участков вплоть до выброса в окружающую среду, распространение полидисперсной газоаэрозольной примеси в атмосфере, расчет параметров радиационной обстановки и оценку доз облучения. Метод реализован в виде сопряженных специализированных расчетных модулей, использующих наиболее современные математические модели рассматриваемых физических процессов, дополненных программными инструментами (сервисными модулями) для организации ввода исходных данных и последовательной передачи результатов вычислений от одного расчетного модуля к другому.

Ключевые слова: *радиоактивные отходы, бесхозный радионуклидный источник, регулирующий контроль, метод сквозного моделирования, радиационный инцидент, радиологические последствия.*

Введение

При современном уровне развития науки и техники радионуклидные источники (РИ) нашли широкое применение в медицине, промышленности, сельском хозяйстве и других сферах человеческой деятельности. Массовость применения таких источников является предпосылкой к возможной потере над ними регулирующего контроля, что, в свою очередь, может привести к радиоактивному загрязнению окружающей среды и облучению населения.

В Федеральном законе «Об использовании атомной энергии» (далее № 170-ФЗ) [1] статьей 3 «Объекты применения настоящего Федерального закона» радиационные источники (не относящиеся к ядерным установкам комплексы, установки, аппараты, оборудование и изделия, в которых содержатся радиоактивные вещества (РВ) или генерируется ионизирующее излучение) отнесены к объектам использования атомной энергии.

В статье 36.1 [1] «Особенности регулирования деятельности по эксплуатации радиационных источников, содержащих в своем составе радионуклидные источники» определяется, что таковыми признаются изделия, содержащие зафиксированные в ограниченном объеме РВ и предназначенные для использования в составе радиационных источников. Очевидно, что

закон № 170-ФЗ распространяется и на основные виды деятельности, касающиеся радионуклидных источников, — проектирование, сооружение, эксплуатацию и вывод их из эксплуатации, а также контроль за обеспечением ядерной, радиационной, технической и пожарной безопасности РИ и их физическую защиту.

РИ могут находиться в федеральной или муниципальной собственности, ведении субъектов Российской Федерации или юридических лиц (статья 5 [1]). При этом «собственники… источников осуществляют контроль за их сохранностью и надлежащим использованием…».

Важно отметить, что организации, осуществляющие деятельность по эксплуатации РИ 4 и 5 категорий радиационной опасности, не признаются эксплуатирующими организациями, но подлежат регистрации в порядке, установленном Правительством Российской Федерации. При этом среди них могут быть радиологически значимые источники.

В штатном режиме (при соблюдении регулирующего контроля) после вывода из эксплуатации РИ получают статус радиоактивных отходов (РАО) различных категорий и вносятся в систему государственного учета и контроля РВ и РАО с их последующей переработкой или захоронением.

Однако при потере надзора над РИ дальнейший неконтролируемый оборот таких источников потенциально может являться причиной возникновения радиационных инцидентов и аварий с возможными радиологическими последствиями для населения. Среди вероятных вариантов нарушения радиационной и экологической безопасности при обращении с бесхозными РИ можно выделить случаи:

- случайного обнаружения РИ и их механического разрушения (нарушения целостности защитной оболочки);
- случайного обнаружения и последующего бесконтрольного обращения с РИ лицами из населения.

Актуальность проблемы с потерей регулирующего контроля над РИ подтверждается данными [2]—[4], которые показывают (табл. 1), что за период с 1945 по 2007 год число аварийных событий с бесхозными источниками составило 34 (это около 17 % от всех событий).

При этом отмечается, что точное количество бесхозных источников в мире неизвестно, но предполагается, что их число измеряется тысячами. В частности, со ссылкой на данные Комиссии по ядерному регулированию США (US Nuclear Regulatory Commission), констатируется, что в период с 1996 по 2008 г. компаниями

Таблица 1. Предполагаемое число серьезных радиационных аварий во всем мире*

Тип аварии	Период, годы		
	1945–1965 гг.	1966–1986 гг.	1987–2007 гг.
С бесхозными источниками	3	15	16
В научно-исследовательских организациях	2	16	4
С медицинской аппаратурой	Неизвестно	18	14

* На основе данных об официально зарегистрированных или получивших огласку авариях.

в стране были потеряны следы почти 1 500 РИ, половина из которых никогда не была найдена (сколько из них попало с металлоломом в переплавку — неизвестно, в открытых источниках информация отсутствует). В пределах Европейского Союза ежегодно, таким образом, из-под контроля выходит (по сути, теряется) до 70 источников, и, хотя большинство из них не представляет существенной радиологической угрозы, основное беспокойство вызывают несчастные случаи, связанные с бесхозными источниками. Так, в обзоре [2] отмечается, что в 31 произошедшем инциденте в период с 1966 по 2007 г. зафиксирована смерть 42 человек среди населения, включая детей.

Актуальность проблемы с бесхозными РИ в России подтверждается статистическими данными, представленными в ежегодных Государственных докладах Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор). Здесь критерии отнесения ситуаций к требующим внимания событиям отличаются, тем не менее статистика также подтверждает ее значимость. Так, из доклада за 2023 год [5] следует, что за отчетный период в России был зарегистрирован 121 случай (2018 г. — 209, 2019 г. — 192, 2022 г. — 151), связанный с потерей контроля над источниками ионизирующего излучения в 25 субъектах Российской Федерации. Из них 23 % (35 случаев) (2018 г. — 32,0 %, 2019 г. — 20 %) приходится на выявление РИ в металлоломе.

Понимая важность ситуации для глобальной безопасности, в 1995 году в МАГАТЭ создана информационная система — база данных (БД) по инцидентам и незаконному обороту (ITDB — Incident and Trafficking Database) [6], содержащая сведения по этим и другим несанкционированным видам деятельности и событиям, связанным с ядерными и другими радиоактивными материалами, находящимися вне регулирующего контроля. Согласно данным, передаваемым рядом стран в БД ITDB (всего в

ней 145 государств, включая все 27 стран Евросоюза), в мире с 1993 по 2024 год в среднем ежегодно документируется 137 таких инцидентов (в 2021 году их было зафиксировано 120, в 2022 году — 146, в 2023 году — 168, в 2024 году — 147). Как видно, потеря контроля над РИ происходит с достаточно значимой частотой.

Бесхозные РИ в металлоломе

Требования к обеспечению радиационной безопасности при обращении с металлоломом (в первую очередь проведению входного радиационного контроля) установлены в [7], тем не менее инциденты, связанные с наличием в поступающем на переплавку металлоломе бесхозных РИ, не выявленных при входном контроле, занимают особое место и нуждаются в отдельном рассмотрении. Это связано с тем, что масштаб последствий может быть значительным и по степени вовлеченности территорий, и по количеству людей, подвергаемых неконтролируемому радиационному воздействию вследствие атмосферного переноса радиоактивных аэрозолей, образующихся в результате этой процедуры и поступивших в окружающую среду через вентсистемы плавильных участков.

Высокая вероятность непреднамеренного попадания РИ в потоки обращения металлического лома и установки по его переплавке обусловлена наличием привлекательного для сборщиков металлолома массивного защитного корпуса, внутри которого размещается РИ. Ситуация усугубляется тем, что по данным Международного бюро по использованию вторичного сырья (BIR — The Bureau of International Recycling) [8] на 2006 год более половины объема продукции черной металлургии в мире изготавливалось из металлолома. Учитывая поступление на переработку (переплавку) его большого объема различного происхождения, Европейская экономическая комиссия Организации Объединенных Наций (ЕЭК ООН) указывала на возрастающий риск радиоактивного загрязнения от природных и техногенных источников, попадающих в процесс переработки металла [9]. Например, только в США в 2004 году было зарегистрировано свыше 5 000 случаев, связанных с различными видами радиоактивного металлолома. Около 53 % из них касались обнаружения природных РВ, 7 % — присутствия радия и менее 5 % — искусственно созданных радионуклидов (в отношении остальных зарегистрированных инцидентов информация отсутствует). Также по данным ЕЭК ООН [9] Федеральное агентство по ядерному контролю (ФАЯК) Бельгии (Belgian Federal Agency for Nuclear Control — FANC) только за период 2004—2005 гг. официально задокументировало 52 случая обнаружения радиоактивно загрязненных материалов в секторе переработки металлолома (23 — в 2004 г. и 29 — в 2005 г.).

Известно несколько ситуаций значимого загрязнения производственных помещений, территорий и облучения населения, которые произошли в мире в результате плавления РИ вместе с металлоломом. В частности, можно отметить инцидент на сталелитейном заводе на юге Испании (город Algeciras) в мае 1998 года, когда радиотерапевтический источник ^{137}Cs, оказавшийся в стране вместе с металлоломом, который транспортировался через другие государства, попал в плавильную печь. Активность выброса по оценкам составила около 3 ТБк. Его зарегистрировали сети мониторинга нескольких европейских стран. Наибольшие значения концентрации ^{137}Cs в воздухе наблюдались на юге Франции и севере Италии — до 3,5 мБк/м^3.

Таким образом, можно выделить два класса ситуаций, связанных с плавлением РИ с металлоломом:

1) при обнаружении превышений измерений параметров радиационной обстановки над фоновыми в уже переработанном металле и изделиях из него (здесь, по сути, отсутствует дальнейшее распространение РВ, так как они локализованы в образовавшейся продукции, обращение с которой в дальнейшем регламентировано и на практике понятно);

2) при зафиксированном ходе выброса РВ в атмосферу (может приводить к масштабному загрязнению местности и объектов окружающей среды с учетом переноса радиоактивных аэрозолей в атмосфере и их осаждения на подстилающую поверхность, промышленную и городскую застройку и т. п.).

С учетом указанного далее будем рассматривать события второго класса.

В России среди таких резонансных событий отметим два:

1) на Подольском заводе цветных металлов в августе 1989 года с попаданием радиоактивного источника ^{137}Cs, поступившего на завод с ломом цветных металлов, в плавильные печи и его расплавлением, в результате чего из 42 га площади завода было загрязнено 5 га территории и часть производственных помещений, мощность дозы гамма-излучения на заводе колебалась от 1,5 до 8 мкЗв/ч;

2) на ЭЗТМ (г. Электросталь, Московская область) 12 апреля 2013 года, когда был зафиксирован выброс ^{137}Cs в окружающую среду в результате плавления РИ, оказавшегося в металлоломе

и вместе с ним поступившего на переработку. По оценкам, активность выброса составила примерно 1 ТБк.

Рассматриваемые ситуации с непреднамеренным плавлением бесхозных РИ могут иметь различные по величине радиологические последствия. При этом коллективная эффективная доза облучения населения (чел.-Зв) может являться мерой наносимого ущерба. В НРБ-99/2009 [10] в пункте 2.2 указано, что для обоснования расходов на радиационную защиту при реализации принципа оптимизации принимается, что облучение в 1 чел.-Зв приводит к потенциальному ущербу, равному потере примерно 1 чел.-года жизни населения. При этом величина ее денежного эквивалента устанавливается отдельными документами федерального уровня в размере не менее 1 годового душевого национального дохода (годовой валовый национальный доход на душу населения). В частности, по данным Всемирного банка [11], в России в 2023 году он составил $ 14 250. Таким образом, коллективная эффективная доза облучения населения в 1 чел.-Зв в денежном эквиваленте на 2023 год соответствует потенциальному ущербу в размере не менее этой суммы.

В случае упомянутого выше инцидента на ЭЗТМ (2013 г.) некоторые ретроспективные оценки доз облучения лиц из персонала и населения показывают, что индивидуальные эффективные дозы составили порядка 10 мЗв. Следовательно, воздействие всего на 100 человек обеспечит коллективную дозу в 1 чел.-Зв, которая эквивалентна денежному ущербу в $ 14 250 (в ценах 2023 года). Такие результаты для происшествий на Подольском заводе цветных металлов и ЭЗТМ существенно недооценивают величину потенциальных потерь, так как реальные затраты могут исчисляться десятками и даже сотнями миллионов рублей и складываются из расходов на дезактивацию помещений предприятий, реабилитацию загрязненных территорий, упущенной выгоды от простоя производства, неадекватных мер вмешательства, социального ущерба и т. д. По этой причине для оперативных прогнозов последствий рассматриваемых аварийных событий необходимо иметь соответствующие расчетные инструменты.

Подход к расчетной оценке радиационных последствий при инцидентах с РИ, вышедшими из-под регулирующего контроля

Для решения задач обнаружения и локализации бесхозных РИ могут использоваться различные технические средства, в частности стационарные системы радиационного контроля (АСКРО) и мобильные комплексы радиационной разведки (передвижные радиометрические лаборатории и средства беспилотной аэрогаммасъемки). Вместе с тем, для наиболее полного анализа и прогноза потенциальных последствий рассматриваемых инцидентов, на практике, помимо непосредственно измеряемых параметров радиационной обстановки на местности, по которым можно сделать выводы об обеспечении защиты населения от радиационного воздействия РИ сверх установленных пределов, необходимо наличие расчетных методов и средств, обеспечивающих проведение количественной оценки возможных доз облучения населения.

Опубликован ряд результатов, посвященных анализу отдельных стадий развития протекающих процессов на разных этапах аварийных ситуаций, связанных с РИ [12]—[14], среди которых отсутствуют работы по их оперативному и сквозному моделированию, позволяющему обеспечить системную подготовку рекомендаций для реализации защитных мер.

В данной статье впервые предложен подход на основе разработки метода сквозного моделирования, включающего комплексное последовательное рассмотрение процессов, вызванных высокотемпературным воздействием на РИ, в том числе их плавление вместе с металлоломом, выход из расплава образующихся радиоактивных аэрозолей и их перенос в системе производственной вентиляции плавильных участков вплоть до поступления в окружающую среду, распространение газоаэрозольной примеси с разным дисперсным составом аэрозолей в атмосфере, расчет параметров радиационной обстановки (выпадение и объемные концентрации в воздухе) и оценка доз облучения. Метод реализован в виде сопряженных специализированных расчетных модулей, использующих наиболее современные математические модели рассматриваемых физических процессов, дополненных программными инструментами (сервисными модулями) для организации ввода исходных данных и последовательной передачи результатов расчета от одного расчетного модуля к другому.

При разработке метода решены следующие задачи:

- обоснован перечень необходимых моделей и реализующих их расчетных модулей с учетом их доработки под специфику задачи с плавлением РИ для стадий транспорта РВ от плавильного тигля до выброса («плавление» — «перенос в вентсистеме») и для оценки последствий

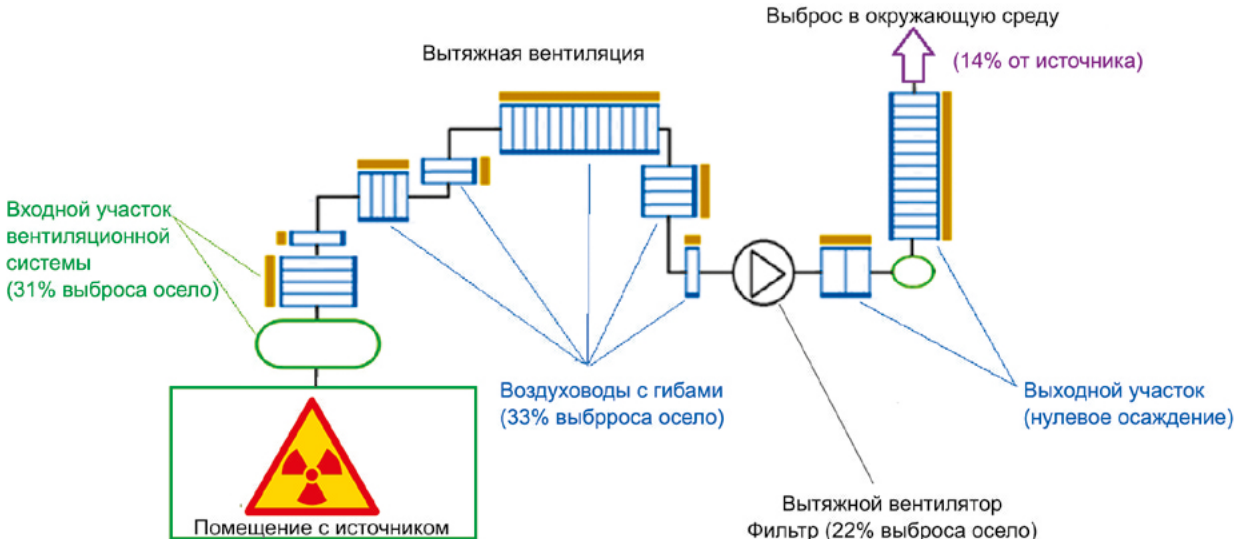

Рис. 1. Пример расчетной схемы миграции и осаждения РВ в вентиляционной системе плавильного участка

(«атмосферный перенос в различных масштабах» — «оценка параметров радиационной обстановки и доз облучения»);

- учтены новые явления и процессы (формирование источника выхода радиоактивных аэрозолей при плавлении РИ, а также их полидисперсность на этапах образования, переноса в вентсистемах производственных участков, при атмосферном переносе примеси и ее выпадении на подстилающую поверхность);
- программно сопряжены расчетные модули (формирование набора входных данных для каждого расчетного этапа и согласование форматов входных/выходных данных между их последовательными стадиями);
- проверены возможности разработанного метода и расчетных средств на экспериментальных данных, а также сведениях о реальных инцидентах.

С учетом решаемых задач метод использует следующие информационные ресурсы и расчетные модули:

а) модуль плавления радиоактивных материалов и формирования радиоактивных аэрозолей различного дисперсного состава;

б) модуль переноса образовавшихся радиоактивных аэрозолей в вентиляционных системах плавильных производственных участков и формирования источника выброса в атмосферу (пример результатов работы модуля — на рис. 1);

в) модуль атмосферного переноса радиоактивной примеси различного дисперсного состава и ее осаждения на основе лагранжевой стохастической модели (учет полидисперсности примеси при ее распространении и взаимодействии с подстилающей поверхностью; пример результатов работы модуля — на рис. 2 и 3), а также расчета доз облучения населения;

г) база данных по характеристикам РИ.

Рис. 2. Область моделирования с типами подстилающей поверхности (розовая линия — ось следа условного выброса, красным выделены области выпадений в лиственном лесу, звездочка — источник выброса)

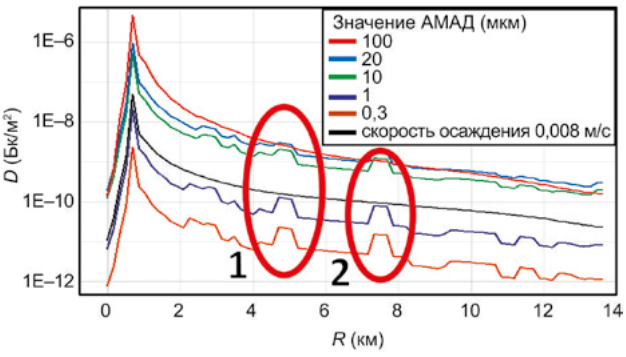

Рис. 3. Зависимость выпадений радиоактивной примеси от расстояния от источника выброса для различных усредненных АМАД (активностный медианный аэродинамический диаметр) полидисперсной примеси в сравнении с монодисперсной (черный цвет) для областей интереса

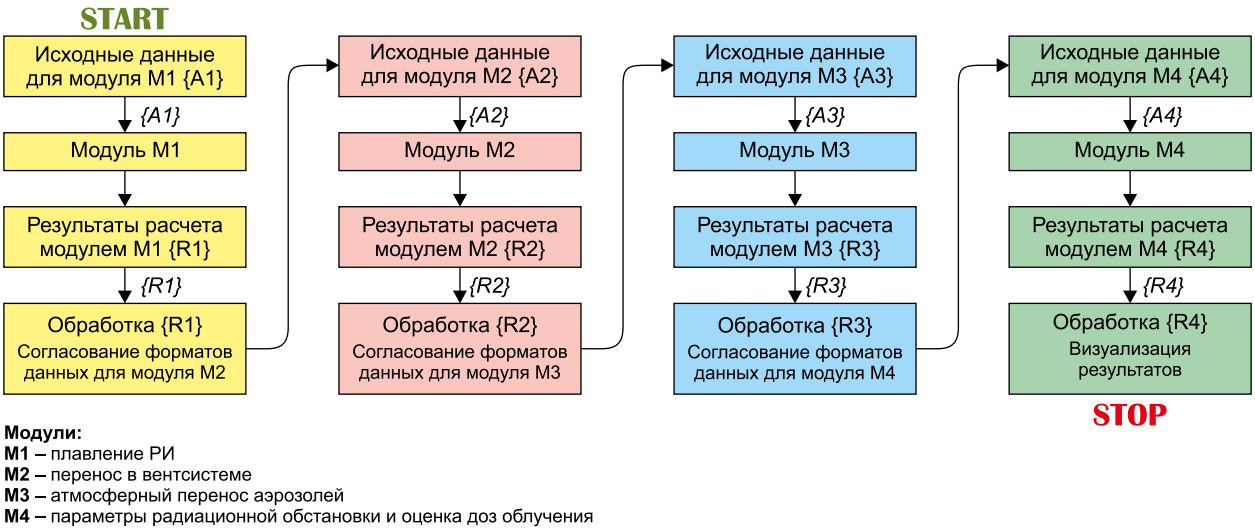

Рис. 4. Блок-схема расчетного метода

Блок-схема расчетного метода приведена на рис. 4.

Предложенный метод сквозного моделирования, реализованный в виде комплекса сопряженных расчетных модулей, может быть эффективно использован в системе поддержки принятия решений в задачах анализа радиационной безопасности населения при инцидентах, связанных с непреднамеренным плавлением бесхозных РИ, планировании защитных мероприятий для населения, при проведении противоаварийных тренировок и для выполнения детерминистических расчетов при проектировании объектов ядерной техники.

Его функционирование продемонстрировало применимость предлагаемого метода и было валидировано на основе натурных измерений.

Заключение

Для оперативной прогностической оценки последствий при неконтролируемом облучении населения в случае инцидентов с вышедшими из-под регулирующего контроля радионуклидными источниками предложен подход к оценке радиационных последствий при таких инцидентах, в частности при непреднамеренном плавлении бесхозных РИ с металлоломом. Его принцип основан на создании расчетного метода обоснования безопасности населения, обеспечивающего сквозное моделирование химических, тепловых, гидравлических и механических процессов, возникающих при плавлении РИ, формировании газоаэрозольного выброса, его распространении, осаждении РВ и формировании доз облучения. Разработанный метод сквозного моделирования процессов в сценариях с плавлением РИ реализован путем сопряжения отдельных специализированных расчетных модулей.

Литература

1. Об использовании атомной энергии : федеральный закон от 21.11.1995 № 170-ФЗ (с изм. и доп.) // Собрание законодательства Российской Федерации. 1995. 27 ноября. № 48. Ст. 4552. — URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8450/ (дата обращения: 15.01.2026).

2. Radiation: effects and sources. United Nations Environment Programme. 2016.

3. International Atomic Energy Agency, Lessons Learned from the Response to Radiation Emergences (1945—2010), Appendix II: Description of Different Types of Radiation Emergencies, Emergency Preparedness and Response Series, IAEA-EPR. Vienna, IAEA, 2012. Pp. 79—117.

4. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources and Effects of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes, Volume II: Effects, Annex C, Radiation Exposures in Accidents. New York, United Nations, 2011. Pp. 1—43.

5. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2023 году: Государственный доклад. — М. : Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2024. 364 с.

6. URL: https://www.iaea.org/resources/databases/itdb (дата обращения: 16.12.2025).

7. СанПиН 2.6.4115-25. Санитарно-эпидемиологические требования в области радиационной

безопасности населения при обращении источников ионизирующего излучения.
8. URL: http://www.bir.org/pdf/wsif2006-x.pdf (дата обращения: 16.12.2025).
9. Мониторинг радиоактивного металлолома и процедуры реагирования. Материалы работы Группы экспертов ЕЭК ООН по мониторингу радиоактивного металлолома, Женева, 12—14 июня 2006 года. Нью-Йорк — Женева, ООН, 2006.
10. СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009.
11. URL: https://www.rbc.ru/economics/02/07/2024/66830f369a7947347cf3a3da (дата обращения: 16.12.2025).
12. *Гаврилов С. Л., Шикин С. А., Шикин А. В., Долгов В. Н., Арон Д. В., Киселев А. А., Красноперов С. Н., Меркушов В. П., Серебряков Е. Л.* Оценка радиационной обстановки, параметров источника выброса и выпадений ^{137}Cs при радиационном инциденте в г. Электросталь на основе первичного радиационного обследования и расчетного анализа // АНРИ. 2019. № 1 (96). С. 27—36.
13. *Бакин Р. И., Дьяков С. В., Киселев А. А. , Красноперов С. Н., Стрижова С. В., Шикин А. В., Сегаль М. Д.* Об экономических аспектах чрезвычайных ситуаций с источниками ионизирующих излучений в крупных городах // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2018. № 4. С. 85—95.
14. *Arutyunyan R. V., Pripachkin D. A., Dolganov K. S. et al.* Assessment of parameters of radioactive aerosol release through air duct system using the SOCRAT/V3 code // Nuclear Technology. 2018. Vol. 203. No. 1. Pp. 92—100. DOI 10.1080/00295450.2018.1432839.

Информация об авторе

Краснопёров Сергей Николаевич, заведующий отделением развития систем аварийной готовности и реагирования, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Большая Тульская ул., д. 52), e-mail: rnk@ibrae.ac.ru.

Библиографическое описание статьи

Красноперов С. Н. О подходе к оценке радиационных последствий инцидентов с радионуклидными источниками, вышедшими из-под регулирующего контроля // Радиоактивные отходы. 2026. № 1 (34). С. 88—95. DOI: 10.25283/2587-9707-2026-1-88-95.

ON THE ASSESSMENT APPROACH TO THE RADIATION CONSEQUENCES OF INCIDENTS WITH RADIONUCLIDE SOURCES RELEASED FROM REGULATORY CONTROL

Krasnoperov S. N.

Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Article received on January 19, 2026

The article considers an approach to assessing the radiation consequences of incidents involving radionuclide sources that had been released from regulatory control. The approach is based on the development of an end-to-end modeling method involving comprehensive sequential consideration of processes associated with high-temperature exposure to radionuclide sources, including their unintentional melting in crucibles with scrap metal, and the release of radioactive aerosols from the melt, their transfer in the industrial ventilation systems at smelting sites up to their release into the environment, transport of polydisperse aerosol gas contaminants in the atmosphere, calculation of radiation parameters and radiation dose assessment. The method has been implemented in the form of coupled specialized software modules involving most advanced mathematical models of the considered physical processes

supplemented by software tools (service modules) providing input of initial data and sequential transmission of calculation results from one software module to another.

Keywords: *radioactive waste, orphan radionuclide source, regulatory control, end-to-end modeling method, radiation incident, radiological consequences.*

References

1. *Federal'nyy zakon "Ob ispol'zovanii atomnoy energii"* [Federal Law On Atomic Energy Use] of November 21, 1995 No. 170-FZ (as amended on April 21, 2025, with amendments that entered into force on December 15, 2025) — URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8450/ (accessed on: 15.01.2026).
2. Radiation: effects and sources. United Nations Environment Programme. 2016.
3. International Atomic Energy Agency, Lessons Learned from the Response to Radiation Emergences (1945—2010), Appendix II: Description of Different Types of Radiation Emergencies, Emergency Preparedness and Response Series, IAEA-EPR. Vienna, IAEA Publ., 2012. Pp. 79—117.
4. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources and Effects of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes, Volume II: Effects, Annex C, Radiation Exposures in Accidents. New York, United Nations Publ., 2011. Pp. 1—43.
5. *O sostoyanii sanitarno-epidemiologicheskogo blagopoluchiya naseleniya v Rossiyskoy Federatsii v 2023 godu: Gosudarstvennyy doklad* [On the sanitary and epidemiological well-being of the population in the Russian Federation in 2023: State report]. Moscow, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Welfare Publ., 2024. 364 p.
6. URL: https://www.iaea.org/resources/databases/itdb (accessed on: 16.12.2025).
7. SanPiN 2.6.4115-25. *Sanitarno-epidemiologicheskiye trebovaniya v oblasti radiatsionnoy bezopasnosti naseleniya pri obrashchenii istochnikov ioniziruyushchego izlucheniya* [Sanitary and epidemiological requirements for the radiation safety of the population when handling sources of ionizing radiation].
8. URL: http://www.bir.org/pdf/wsif2006-x.pdf (accessed on: 16.12.2025).
9. *Monitoring radioaktivnogo metalloloma i protsedury reagirovaniya. Materialy raboty Gruppy ekspertov YEEK OON po monitoringu radioaktivnogo metalloloma* [Monitoring of Radioactive Scrap Metal and Response Procedures. Proceedings of the UNECE Group of Experts on the Monitoring of Radioactive Scrap Metal], Geneva, 12—14 June 2006. New York — Geneva, United Nations Publ., 2006.
10. SanPiN 2.6.1.2523-09. *Normy radiatsionnoy bezopasnosti* [Radiation Safety Standards] NRB-99/2009.
11. URL: https://www.rbc.ru/economics/02/07/2024/66830f369a7947347cf3a3da (accessed on: 16.12.2025).
12. Gavrilov S. L., Shikin S. A., Shikin A. V., Dolgov V. N., Aron D. V., Kiselev A. A., Krasnoperov S. N., Merkushov V. P., Serebryakov E. L. Otsenka radiatsionnoy obstanovki, parametrov istochnika vybrosa i vypadeniy ^{137}Cs pri radiatsionnom intsidente v g. Elektrostal' na osnove pervichnogo radiatsionnogo obsledovaniya i raschetnogo analiza [Assessment of Radiation Situation, Source Term and ^{137}Cs Fallout in the Radiation Incident in Elektrostal Town Based Upon Primary Radiation Survey and Numerical Analysis]. *ANRI — ANRI,* 2019, no. 1 (96), pp. 27—36.
13. Bakin R. I., Dyakov S. V., Kiselev A. A., Krasnoperov S. N., Strizhova S. V., Shikin A. V., Segal M. D. Ob ekonomicheskikh aspektakh chrezvychaynykh situatsiy s istochnikami ioniziruyushchikh izlucheniy v krupnykh gorodakh [The Economic Aspects of Emergency Situations Related to Ionizing Radiation Sources in the Big Cities]. *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy —Problems of safety and emergency situations,* 2018, no. 4, pp. 85—95.
14. Arutyunyan R. V., Pripachkin D. A., Dolganov K. S. et al. Assessment of parameters of radioactive aerosol release through air duct system using the SOCRAT/V3 code. *Nuclear Technology,* 2018, vol. 203, no. 1, pp. 92—100. DOI: 10.1080/00295450.2018.1432839.

Information about the author

Krasnoperov Sergei Nikolaevich, Head of Department, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulskaya st., Moscow, 115191, Russia), e-mail: rnk@ibrae.ac.ru.

Bibliographic description

Krasnoperov S. N. On the Assessment Approach to the Radiation Consequences of Incidents with Radionuclide Sources Released from Regulatory Control. *Radioactive Waste,* 2026, no. 1 (34), pp. 88—95. DOI: 10.25283/2587-9707-2026-1-88-95. (In Russian).