

ОСНОВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ В СФЕРЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

М. Г. Герменчук¹, Н. Н. Цыбулько²

¹ К. т. н., доцент, заместитель директора по научной работе УО «Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова БГУ», Минск, Беларусь, e-mail: germenchuk@iseu.by

² Д. с.-х. н., профессор, начальник научно-исследовательского сектора УО «Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова БГУ», Минск, Беларусь, e-mail: res_sector@iseu.by

Реферат

В статье представлен алгоритм механизмов управления рисками в сфере обеспечения радиационной безопасности человека и объектов окружающей среды, включающий мониторинг и прогноз радиационной обстановки. Показано, что представленная адаптированная модель деятельности по обеспечению радиоэкологической безопасности хорошо согласуется с современными методами оценки риска, а предложенные расширенная матрица оценки степени риска и подходы по калибровке диапазонов хорошо описывают вероятностную природу рисков. Для Республики Беларусь идентифицированы основные 15 действующих и потенциальных радиоэкологических рисков, предложена их категоризация по основным свойствам, представлены основные источники неопределенности в ситуациях радиоэкологического риска. Показано, что долговременные тенденции роста актуальности проблем обеспечения радиационной безопасности подтверждаются высокими оценками степени радиоэкологических рисков.

Ключевые слова: радиационная безопасность, механизмы управления радиоэкологическими рисками, идентификация и квантификация рисков, степень риска, неопределенность, мониторинг и прогноз радиационной обстановки.

GENERAL RISK MANAGEMENT MECHANISMS IN THE RADIATION SAFETY AND MONITORING OF ENVIRONMENT

M. G. Germenchuk, M. M. Tsybulka

Abstract

The article presents an algorithm of risk management mechanisms in the radiation safety of humans and the environment, including monitoring and forecasting of the radiation situation. It is shown that the presented adapted model of activities to ensure radioecological safety is well consistent with modern methods of risk assessment, and the proposed extended risk assessment matrix and approaches to range calibration well describe the probabilistic nature of risks. For the Republic of Belarus, the main 15 existing and potential radioecological risks have been identified, their categorization by main properties has been proposed, the main sources of uncertainty in radioecological risk situations have been presented. It has been shown that long-term trends in the relevance of radiation safety problems are confirmed by high assessments of the degree of radioecological risks.

Keywords: radiation safety, mechanisms of radioecological risk management, identification and quantification of risks, rank of risk, uncertainty, monitoring and prognosis of the radiation situation.

Введение

Региональные и глобальные радиоэкологические проблемы, в том числе радиоактивное загрязнение биосферы вследствие испытаний ядерного оружия и катастроф на Чернобыльской АЭС и Фукусимской АЭС, а также иная деятельность по использованию атомной энергии и обеспечению радиационной безопасности человека и окружающей среды (далее – ОРБ) требуют создания эффективных механизмов по управлению возникающими экологическими, в том числе радиоэкологическими, рисками.

Управление рисками в сфере ОРБ, превентивные мероприятия по снижению последствий катастрофических и иных негативных процессов требуют научно-обоснованных оценок угроз (опасностей) и рисков в сфере ОРБ с учетом их динамики в кратко-, средне- и долгосрочной перспективах.

Разработана и представлена структура модели радиационной безопасности и основные тренды актуальности проблем в сфере ОРБ, описаны основные адаптированные механизмы управления рисками.

С использованием научно обоснованных подходов проведена идентификация, квантификация и категоризация радиоэкологических и иных угроз и рисков, предложены новые подходы к оценке степени риска в сфере ОРБ.

Особое внимание посвящено роли мониторинга и прогноза радиационной обстановки в окружающей среде как неотъемлемой части механизмов управления рисками в сфере ОРБ.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования рассматривается сфера ОРБ как проблемосодержащая область, которая включает в себя угрозы и риски,

их оценки при реализации деятельности в этой сфере, проблемные ситуации и ситуации облучения, в качестве предмета исследования – их связи с механизмами управления рисками, в том числе, мониторингом и прогнозом радиационной обстановки в окружающей среде.

Примем, что в сфере ОРБ действуют два взаимодополняющие подхода: прагматический, где объект защиты – человек (население и персонал) и комплексный биосферный, где объекты защиты – человек и окружающая среда.

При анализе деятельности в сфере ОРБ были использованы логико-исторический подход и системный анализ, кроме того, а также теория риска, экспертные и иные методы.

Важно принять во внимание, что именно логико-исторический подход позволяет наиболее полно оценивать социальные аспекты рисков как всей системы ОРБ, так системы мониторинга и прогноза радиационной обстановки в окружающей среде (далее – система радиационного мониторинга окружающей среды) в составе механизмов управления рисками с учетом динамики угроз и рисков в этой сфере. Системный анализ позволяет формализовать оценки рисков, полученные на вербальном (качественном) уровне.

Для разработки механизмов управления рисками в сфере ОРБ были использованы общие подходы, определенные Международным стандартом IEC 31010:2018 «Менеджмент риска. Методы оценки риска» («Risk management – Risk assessment techniques», IDT), «General Safety Guide No. GSG-10 IAEA Safety Standards for Prospective Radiological Environmental Impact Assessment for Facilities and Activities», а также национальный стандарт Республики Беларусь СТБ IEC 31010 – 2022 «Менеджмент риска. Техники оценки риска» от 01.08.2023 [1, 2, 3].

Структура модели радиационной безопасности, актуальность проблем в сфере ОРБ

Описание сферы ОРБ человека и биосферы целесообразно начинать с адаптации широко известного методического приема – модели деятельности в сфере экологической безопасности, предложенного рабочей группой Европейской экономической комиссии по мониторингу и оценке, которая предполагает, что такая деятельность состоит из четырех последовательных во времени фаз [4]. Следует отметить, что модель деятельности в сфере ОРБ хорошо согласуется с моделями управления рисками, как это показано далее.

Адаптированная для целей ОРБ структура модели безопасности включает в себя:

I. Признание проблемы на научном и социальном уровне, оценка ее общественной значимости (элемент А).

II. Формулирование политики радиационной безопасности (элементы В, С и D).

III Реализация политики радиационной безопасности (элемент Е).

IV Оценка результатов настоящей и планируемой деятельности с использованием ядерной энергии и в ОРБ (элемент F).

Такой методический подход позволяет выделить временные параметры реализации отдельных фаз деятельности, оценить общественную значимость вопросов обеспечения радиационной безопасности в зависимости от состава угроз и рисков с учетом типа ситуации облучения на разных этапах социально-экономического развития Республики Беларусь.

Очевидно, что именно фаза I, которая предполагает признание проблем в сфере ОРБ на научном и социальном уровне и последующая оценка ее значимости в различные временные периоды, как это далее описывает элемент А, задает последующие тренды актуальности проблем ОРБ для общества.

Оценим актуальность проблем в сфере ОРБ, используя логико-исторический подход с применением экспертных методов оценок. На рисунке 1 представлен экспертный анализ значимости проблем и выявленные тренды актуальности задач в сфере ОРБ в период 1945–2024 гг.

В этом контексте следует признать, что перед человечеством задача обеспечения радиационной безопасности впервые встала в 1945 году после глобального бомбового радиоактивного загрязнения биосферы вследствие испытаний и применения ядерного оружия.

Анализ диаграммы показывает, что в целом на протяжении 80 лет наблюдается ярко выраженный тренд роста актуальности проблем радиационной безопасности, связанных с радиоактивным загрязнением биосферы. Можно выделить временной промежуток, приблизительно в 20 лет, когда действие Договора о запрещении испытаний ядерного оружия в трех природных сферах: атмосфере, космическом пространстве и под водой (1963 год), снизило напряженность восприятия проблем радиационной безопасности в связи с уменьшением рисков глобального радиоактивного загрязнения за счет проведения таких испытаний, однако даже в это время проблемы ОРБ оставались актуальными.

К сожалению, этот Договор не распространяется на наземные и подземные испытания, что не позволяет говорить об устранении в полном объеме рисков радиоактивного загрязнения биосферы при использовании атомной энергии в военных целях.

Разумеется, проблемы бомбового и аварийного радиоактивного загрязнения окружающей среды существовали и до катастрофы на Чернобыльской АЭС, достаточно вспомнить последствия ядерных бомбардировок Японии в августе 1945 года, а также значительные аварии на АЭС в Уинскеддейле (Великобритания, 1957 год) или на ПО «Маяк» (СССР, 1957 год). Однако значимость этих событий имела локальный характер и не требовала формирования стратегий защиты и обеспечения безопасности человека и биосферы в масштабах страны или континента.

Начиная с 1986 года, после катастрофы на Чернобыльской АЭС, спектр угроз и рисков в сфере ОРБ значительно расширился за счет аварийного радиоактивного загрязнения биосферы и в настоящее время для Республики Беларусь достаточно хорошо известен, идентифицирован и описан на вербальном уровне. Кроме того, следует отметить, что в составе уже известных угроз и рисков в сфере ОРБ отмечена еще одна негативная тенденция: увеличение потенциального и фактического масштаба воздействия опасностей, например, последствия радиационных аварий или радиологического и ядерного терроризма. При этом следует иметь в виду, что из-за особенностей физической природы радиоактивных веществ, негативное влияние радиоактивного загрязнения, в том числе, долгоживущими радионуклидами, например цезием-137, стронцием-90 и изотопами плутония, будет сохраняться на неопределенно долгий период (сотни и тысячи лет).

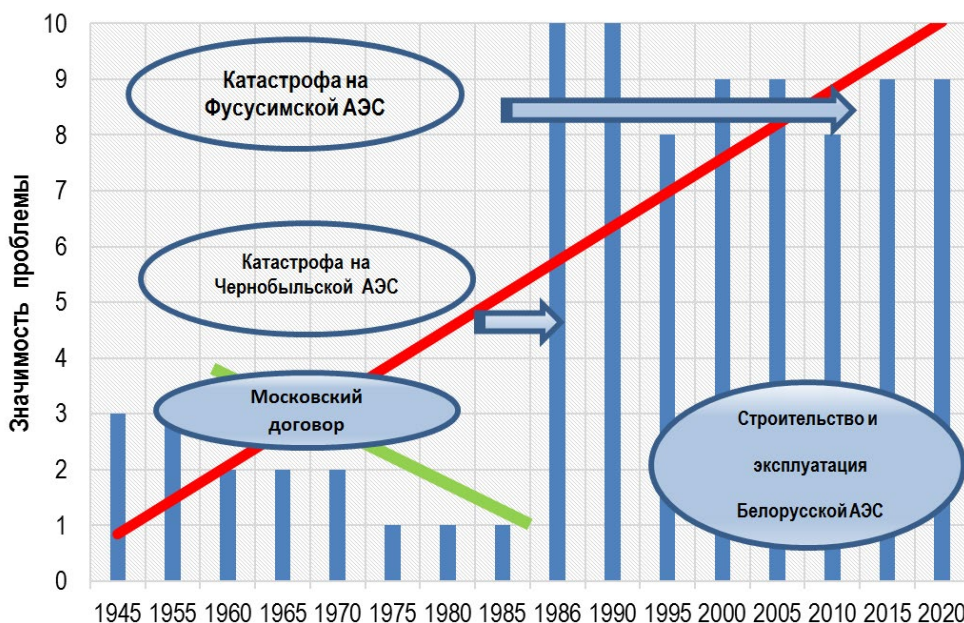


Рисунок 1 – Значимость¹³ и тренды актуальности проблем обеспечения радиационной безопасности (на примере Республики Беларусь)

Тренды актуальности проблем
 за период 1945–2020 гг. за период 1963–1985 гг.

¹³ Значимость проблемы оценивается экспертным методом в относительных единицах от 0 до 10

Представленные далее оценки угроз и рисков в виде количественных оценок степени риска (*Rank Risk*, далее – *RR*) позволяют формализовать вербальные оценки актуальности проблем в сфере ОРБ и показывают, что в современных условиях для Республики Беларусь *RR* от действующих угроз может изменяться от 4 до 19, ранее 25 и более, от потенциальных от 4 до 11 (таблица 3).

Таким образом, можно сделать вывод, что проблемы обеспечения радиационной безопасности имеют высокую актуальность и отсутствуют тенденции к ее снижению.

Следует добавить, что выявленные и представленные на рисунке 1 тренды актуальности проблем в сфере ОРБ и оценки степени рисков также предопределяют актуальность и значимость мониторинга и прогноза радиационной обстановки в кратко-, средне- и долгосрочной перспективах как одного из важнейших элементов механизмов управления рисками.

Адаптация общих подходов по управлению рисками к сфере ОРБ, неопределенности и квантификация

Как указано выше, управление рисками в сфере ОРБ базируется на общепринятых в практике управления рисками национальных и международных подходах и рекомендациях.

Подходы к управлению рисками, адаптированные для целей ОРБ, с учетом модели деятельности в этой сфере предполагают, что должны присутствовать следующие основные элементы [3]:

(А) выявление проблемосодержащей области через обмен информацией и консультирование на уровне государственных регуляторов в сфере ОРБ, научной общественности, субъектов экономики и др. (фаза I);

(В) установление контекста проблемы в части выбора объектов защиты и оценки их уязвимости, а также определения значимых для ОРБ источников угроз и рисков (фаза II);

(С) оценка рисков, включая квантификацию, идентификацию и категоризацию по основным характеристикам и природе рисков, а также анализ рисков (степени рисков) с последующей калибровкой диапазонов, ранжирование и оценка неопределенностей (фаза III) (таблицы 1, 2 и 3);

(D) выбор стратегии для обработки риска в сфере ОРБ (фаза II);

(Е) комплекс оперативных и долговременных мер по предупреждению и нейтрализации угроз и рисков в сфере радиационной безопасности (фаза III);

(F) мониторинг результатов с анализом уязвимости объектов защиты (фаза IV).

В связи с тем, что сфера ОРБ является неотъемлемой частью настоящей и планируемой деятельности с использованием ядерной

энергии, она может быть определена как проблемосодержащая область (элементы А и В). Многолетняя практика в сфере ОРБ сформировала понимание об основных уязвимостях, угрозах и рисках, причем базовые понятия формализованы на национальном и международном уровнях в виде законодательных актов, стандартов безопасности и рекомендаций, например, определения радиационной безопасности, культуры безопасности и др. [5, 6].

Намного более сложным является элемент (С), который требует мониторинга и постоянной актуализации состава источников угроз и рисков, а также научно обоснованных подходов по их идентификации, квантификации, категоризации и постоянно обновляемого ранжирования по степени риска *RR*.

Реализация элементов (D), (E) и (F) возможна после выполнения первых трех, при этом (A), (E) и (F) требует обязательного наличия эффективной системы мониторинга и прогноза радиационной обстановки в окружающей среде.

Важно, что элемент (А) в части выбора объекта защиты неявным образом предполагает наличие информационных потребностей в социуме, в том числе в наличии информации, важной для целей ОРБ. Исходя из этого, существует настоятельная необходимость описания требований к составу и качеству информации как в целом для ОРБ, так и для системы радиационного мониторинга, которые в формализованном виде представлены в виде логической структуры универсальной модели состава и качества информации (таблица 1).

Основными качествами, которые должны постоянно оцениваться и поддерживаться на заданном уровне являются: оперативность, достоверность, полнота, доступность источники неопределенности и их оценка. При этом понятно, что должны существовать некоторые отличия в составе требований к составу и качеству информации при реализации биосферного и прагматического подходов.

Следует обратить внимание, что универсальность модели заключается в том, что модель качества содержит универсальные требования как к получаемой, так и представляемой информации. При этом должны существовать и существуют специфические требования к составу и качеству информации, получаемой в системе радиационного мониторинга, которые сформулированы в программах наблюдений, а также требования к информации, представляемым разным группам потребителей [7, 8, 9].

Отметим, что в системе радиационного мониторинга окружающей среды оперативность и доступность обеспечиваются за счет использования технических решений на базе современных коммуникационных технологий сбора, передачи, обработки, хранения и анализа, например, использование автоматизированных систем контроля радиационной обстановки (далее – АСКРО).

Таблица 1 – Логическая структура универсальной модели состава и качества информации радиационного мониторинга

Качество информации	Состав информации	
	Подход	
	Комплексный биосферный	Прагматический
Оперативность	Результаты наблюдений на сети мониторинга, в т.ч. многолетние, по заданным пространственным и временным параметрам	Оперативная / текущая информация, в том числе, результаты наблюдений в режиме on-line (АСКРО), маршрутных и экспедиционных наблюдений, а также многолетние наблюдения на сети мониторинга
Достоверность	Использование результатов, полученных в аттестованных лабораториях, а также использование, различных, в т.ч. экспериментальных, методов и методик	Использование результатов, полученных в аттестованных лабораториях, с использованием утвержденных методов и методик измерения, оценок и прогноза
Полнота	Перечень параметров охватывает все природные сферы и может быть расширен в зависимости от решаемой задачи	Перечень параметров должен строго соответствовать требованиям утвержденных методов и методик измерения, оценок и прогноза дозовых нагрузок, состояния и загрязнения окружающей среды
Доступность	Всем информационным группам в зависимости от их потребностей	Всем информационным группам в зависимости от их потребностей
Источники неопределенности	Отсутствие или недостаток всесторонних полных знаний о механизмах поведения радионуклидов в биосфере, теоретических исследований и моделей для описания, недостатки в организации получения информации, недостаточная квалификация персонала	Недостаток данных о конкретных событиях (реализованных угрозах) во внешней среде (например, место и время, течение аварии, влияние внешних факторов воздействия, в т.ч. нерадиационной природы), недостатки в организации получения информации, недостаточная квалификация персонала, дефицит времени, недостаточная квалификация персонала, дефицит времени, недостаточная и (или) неполная информация, субъективные ошибки в оценке ситуации и принятии решений

Достоверность и полнота информации обеспечивается научно-организационными (международные стандарты безопасности, национальная нормативная правовая и нормативная правовая техническая база: законы, государственные и иные программы мониторинга, постановления, методики проведения измерений, программы подготовки и переподготовки кадров др.) и техническими решениями (измерительное и вычислительное оборудование, лаборатории, базы данных, системы управления качеством, а также моделирование и применение компьютерных кодов безопасности др.).

Продолжим изучение механизмов управления рискам и обратимся к источникам неопределенности при деятельности в ситуациях риска, как это предусматривает элемент (С). В общем случае, сущность неопределенности заключается в том, что оценка вероятности многих из возможных событий невозможна по причине отсутствия способов ее измерения и оценки качества.

Для разрешения этой проблемы в таблице 1 в общем виде описаны основные источники неопределенности, которые могут понизить качество информации в момент принятия решений по ОПБ в ситуации риска. Такой подход способствует выявлению критически важных источников неопределенности и предпринимать превентивные меры по ее снижению.

Источником неопределенности может стать неполная и (или) недостоверная информация, например, от системы мониторинга чрезвычайных ситуаций о самом факте реализации угрозы (например, какая из АЭС вокруг границ Беларуси находится в аварийном (предаварийном) состоянии), а также о месте, времени и иных характеристиках угрозы, например, угрозы радиологического терроризма. При этом понятно, что система радиационного мониторинга окружающей среды является эффективным способом снижения неопределенностей в части информации о радиоактивном загрязнении биосферы в различных ситуациях облучения (фаза III).

Отметим, что качество информации наиболее значимо и, в тоже время, его наиболее трудно обеспечить в условиях угрозы и наступления ситуации аварийного облучения. В этом случае основные требования к системе радиационного мониторинга должны быть предусмотрены при планировании защитных мероприятий при ядерной / радиационной аварии.

Матрица оценки степени рисков в сфере ОПБ (RR – Матрица)

Согласно действующим руководящим документам в области технического нормирования и стандартизации для оценки RR используется матрица оценок степени риска, которая включает в себя качественные/полукачественные и количественные (квантифицированные) оценки. Как правило, выделяют пять градаций событий, при этом RR изменяется от «считается, что явного риска нет» до «крайне высокой» (далее – RR5 Матрица). Важно отметить, что априори воздействие от источников угроз и рисков неявным образом рассматривается как возможное/потенциальное/вероятное.

Однако логико-исторический анализ практики в сфере ОПБ как в Беларуси, так и во всем мире показывает, что такой подход явно недостаточен, поскольку негативное воздействие на человека и биосферу глобального радиоактивного загрязнения вследствие испытаний ядерного оружия и катастроф на Чернобыльской и Фукусимской АЭС в настоящее время остаются действующей угрозой в сфере ОПБ, причем сам момент фактической реализации угрозы, которая уже стала историческим событием, находится в прошлом.

В связи с этим представляется целесообразным ввести RR5 Матрицу дополнительное событие, назовем его «состоявшимся и действующим» (вероятность 100%). При этом качественная оценка RR изменяется в том же диапазоне от «явного риска нет» до «крайне высокой», в этом случае RR5 Матрица переходит в RR6 Матрицу (таблица 2).

Количественная оценка RR вычисляется по формуле согласно [3]:

$$RR = IR \cdot LR,$$

где IR – воздействие риска;

LR – вероятность риска.

С применением расширенной RR6 Матрицы для Беларуси в случае Чернобыльской катастрофы количественную оценку степени риска можно оценить как $RR \gg 25$, а в случае глобального бомбового радиоактивного загрязнения, в том числе ядерной бомбардировки Хиросимы и Нагасаки в 1945 году или катастрофы на Фукусимской АЭС как ≤ 1 (таблица 2).

Для Японии эти оценки можно представить в следующем виде: от воздействия катастрофы на Чернобыльской АЭС $RR < 1$, от прямого бомбового радиационного воздействия в 1945 году и после катастрофы на Фукусимской АЭС в 2011 году $RR \gg 25$.

Таблица 2 – Матрица определения качественных/полукачественных и количественных (квантифицированных) оценок степени риска RR (RR6 Матрица)

Вероятность события (LR): Баллы / %		Степень воздействия/воздействие (IR), баллы				
		Крайне высокая 5	Высокая 4	Средняя 3	Низкая 2	Ничтожная << 1
Действующее	Баллы > 5 / % 100	Крайне высокая RR >> 25	Крайне высокая RR = 20 ÷ 25	Высокая RR = 15 ÷ 19	Средняя RR = 10 ÷ 14	Низкая RR < 5
Неизбежное / крайне вероятное	Баллы 5 / % 80–99	Крайне высокая RR = 25	Высокая RR = 20 ÷ 24	Высокая RR = 15 ÷ 19	Средняя RR = 10 ÷ 14	Низкая RR < 5
Вполне вероятное	Баллы 4 / % 60–79	Высокая RR = 20	Высокая RR = 16 ÷ 19	Средняя RR = 12 ÷ 15	Низкая RR = 8 ÷ 11	Ничтожная RR < 4
Достаточно вероятное	Баллы 3 / % 20–59	Средняя RR = 15	Средняя RR = 12 ÷ 14	Низкая RR = 9 ÷ 11	Низкая RR = 6 ÷ 8	Ничтожная RR < 3
Маловероятное	Баллы 2 / % 1–19	Низкая RR = 10	Низкая RR = 8 ÷ 9	Ничтожная RR = 6 ÷ 7	Ничтожная RR = 4 ÷ 5	Считается, что явного риска нет RR < 2
Ничтожное	Баллы 1 / % < 1	Низкая RR = 5	Очень низкая RR = 4	Очень низкая RR = 3	Считается, что явного риска нет RR << 2	Считается, что явного риска нет RR << 1

Такая разница в оценке RR имеет свое объяснение на методическом уровне: при установлении контекста проблемы в части оценки уязвимости и выбора объекта защиты (элемент В) определяющую роль играют идентификация значимости угроз и рисков на национальном и региональном уровнях через обмен информацией и консультирование на уровне государственных регуляторов в сфере ОПБ (элемент А), а также на междугородном уровне, например, через Конвенцию об оперативном оповещении о ядерной аварии, которая была принята Генеральной конференцией Международного агентства по атомной энергии на ее специальной сессии 26 сентября 1986 года (далее – Конвенция). Следует обратить внимание, что Конвенция принята, в том числе, с учетом глобального масштаба последствий Чер-

нобыльской катастрофы, и является важнейшим механизмом противодействия рискам в сфере ОПБ, в том числе организационным.

Далее представляется важным описать значимость предложенного методического приема калибровки RR путем введения диапазонов для последующего ранжирования угроз по степени их опасности. С одной стороны, использование такого подхода отражает объективную сущность проблемы – вероятностный характер природы формирования и реализации угроз и рисков и вариабельность процессов в сфере ОПБ. С другой стороны, с использованием апостериорного анализа деятельности по ОПБ во время Чернобыльской катастрофы выделенные диапазоны детализируют оценки RR различных угроз и рисков при сравнении и ранжировании.

Введение диапазонов *RR* позволяет эффективно использовать метод сценарного подхода (негативный – реалистичный – благоприятный сценарий), когда на вербальном уровне можно принять, что верхняя граница диапазона соотносится с негативным сценарием, а нижняя – с благоприятным.

Используя предложенный эмпирический подход для квантифицированной оценки *RR*, появляется возможность формализации верхних и нижних границ диапазонов внутри выделенных шести градаций событий. Как следует из *RR6* Матрицы при квантификации шаг диапазонов меняется следующим образом: 5 → 4 → 3 → 2 → 1, при этом, чем более негативный сценарий рассматривается, чем большая неопределенность ситуации, тем шаг квантификации *RR* больше и, соответственно, при благоприятном сценарии, близком к ситуации определенности с минимальным воздействием шаг квантификации опускается до 1 (таблица 2). Реалистичный уровень *RR* может быть определен либо экспертным путем, либо методами машинного ранжирования (*learning of rank*), моделирования, вероятностного анализа и др.

Идентификация и категоризация угроз и рисков, важных для ОРБ

Идентификация и категоризация угроз и рисков в сфере ОРБ основывается на оценке их источников, характера и масштаба негативного воздействия, природе происхождения, а также социальных аспектов способов их реализации и последствий (элементы А и В в фазах I и II). Как показано выше, идентификация и категоризация угроз и рисков выполняется во временном и пространственном контексте и должна постоянно актуализироваться на национальном и региональном уровнях. Отметим, что, согласно теории риска, в рассмотрение включаются только «чистые» риски, которые являются объективным свойством сферы ОРБ.

В соответствии с элементом А в фазе I с использованием логико-исторического подхода, на основании анализа рекомендаций МАГАТЭ и МКРЗ, а также практики ОРБ в Республике Беларусь, начиная с 1945 года, в том числе в «чернобыльский», «постчернобыльский» периоды и в период строительства и эксплуатации Белорусской АЭС и иных ОИАЭ, идентифицированы основные 15 видов угроз и рисков (таблица 3), которые являются определяющими для ОРБ человека и окружающей среды и предложена схема их категоризации.

Угрозы и риски в сфере ОРБ по их основным свойствам были разделены на следующие шесть категорий:

- действующие (Д) / потенциальные (П);
- прямые /непрямые (косвенные);
- внутренние /внешние;
- радиологические (радиоэкологические) /нерадиологические;
- природные (ПР) / техногенные (Т);
- производственные / социальные, в том числе, финансовые, организационные, информационные, иные.

Начнем с анализа основных действующих и потенциальных рисков и экспертной оценки их степени опасности, представленных в таблице 3, которые можно одновременно классифицировать как радиологические / радиоэкологические прямые техногенные.

В общем случае, к радиологическим/радиоэкологическим угрозам, важным для Беларуси, относятся прежде всего угрозы и риски, источником которых, как правило, являются объекты использования атомной/ядерной энергии (далее – ОИАЭ), или деятельность, в том числе незаконная / несанкционированная, с применением или использованием атомной энергии. Кроме того, источником радиологических угроз может служить радиоактивное загрязнение окружающей среды вследствие испытаний ядерного оружия и аварий на ОИАЭ, например известные действующие угрозы Д 1 и Д 2.

К действующим угрозам и рискам в Республике Беларусь также относятся фактические угрозы, о существовании которых известно, например 4 АЭС вокруг границ Республики Беларусь и Белорусская АЭС (Д 3, Д 4).

К потенциальным угрозам и рискам в сфере ОРБ относится планируемая деятельность с использованием ядерной энергии (П 1, П 2, П 3, П 5), которая является управляемой, когда заранее выбрана стратегия обработки рисков (снижение/минимизация, передача рисков в виде превентивных мер, например, мероприятий по аварийной готовности, страхования рисков), а также деятельность неуправляемая, например, трансграничный перенос (П 8) или несанкционированная / незаконная (П 4, П 6, П 7), причем в этом случае стратегии

обработки рисков должны включать в себя, помимо стратегий снижения / минимизации и передачи, стратегии удержания риска в случае перехода угрозы из потенциальной в действующую, как это было в случае Чернобыльской катастрофы (П 8 → Д 2).

Таблица 3 – Действующие и потенциальные угрозы и риски в сфере ОРБ на территории Республики Беларусь

	Действующие	Диапазон степени риска, RR
Д 1	Глобальное («бомбовое») загрязнение после применения и испытаний ядерного оружия	<1
Д 2	«Чернобыльское» загрязнение первый острый период катастрофы в ситуации аварийного облучения в ситуации существующего облучения	>> 25
		20 ÷ 25
	«Фукусимское» загрязнение	≤1
Д 3	Белорусская АЭС (первый и второй блок), хранилища РАО, другие действующие ОИАЭ	6 ÷ 14
Д 4	Чернобыльская АЭС (1977 г.), Ровенская АЭС (1980 г.), Смоленская АЭС (1982 г.), Игналинская АЭС (1983 г.)	6 ÷ 11
Д 5	ГНУ «ОИЭЯИ-СОСНЫ», пункты захоронения отходов дезактивации на «чернобыльских» территориях, КУП «Экорес» и др.	6 ÷ 11
Д 6	Источники ионизирующего излучения, используемые в организациях, действующих на территории страны	6 ÷ 11
Д 7	Обнаруженные ранее утерянные источники ионизирующего излучения (orphan source)	4 ÷ 8
	Потенциальные	
П 1	Планируемые к строительству ОИАЭ и объекты по обращению с РАО	4 ÷ 8
П 2	Строительство хранилищ радиоактивных отходов на промплощадках Игналинской АЭС при выводе станции из эксплуатации	4 ÷ 8
П 3	Транспортировка радиоактивных материалов через территорию Республики Беларусь	4 ÷ 5
П 4	Незаконное использование радиоактивных материалов и источников ионизирующего облучения (ИИИ)	4 ÷ 8
П 5	ИИИ, санкционированно перевозимые по территории страны	4 ÷ 5
П 6	Радиологический/ядерный терроризм	4 ÷ 8
П 7	Утерянные источники ионизирующего излучения	4 ÷ 6
П 8	Трансграничный перенос загрязняющих веществ на территорию Республики Беларусь воздушными и водными потоками, в том числе в аварийной ситуации	6 ÷ 11

Основными внешними источниками угроз и рисков в сфере ОРБ являются:

- трансграничный перенос загрязняющих веществ на территорию Республики Беларусь воздушными и водными потоками (П 8);
- международный радиологический терроризм (П 6);
- перемещение через территорию страны радиоактивных материалов, в том числе несанкционированное (П 3);
- размещение вблизи границ Беларуси крупных радиационно-опасных объектов и угроза возникновения на них ядерной или радиологической аварийной ситуации (Д 2, Д 5, П 2, П 8), например АЭС вокруг границ Республики Беларусь (рисунок 2);
- объекты хранения/захоронения ядерных отходов на сопредельных территориях (Д 5, П 2, П 8).



Рисунок 2 – Внешние источники угроз и рисков вокруг границ Республики Беларусь (100-км зоны влияния Игналинской, Ровенской, Чернобыльской и Смоленской АЭС)

Основными внутренними источниками угроз и рисков являются [7]:

- эксплуатация Белорусской АЭС, строительство новых ОИАЭ (Д 3, П 1);

- радиоактивное загрязнение окружающей среды, в том числе вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС (Д 1, Д 2);

- незаконное использование радиоактивных материалов и ИИИ, а также утерянные источники (П 4, П 7);

- ИИИ, санкционированно перевозимые по территории страны (П 5);

- объекты захоронения радиоактивных отходов на территории страны, в том числе, ГНУ "ОИЗЯИ-СОСНЫ", пункты захоронения отходов дезактивации на «чернобыльских» территориях, КУП «Экорес», пункты захоронения отходов дезактивации на территориях «чернобыльского» загрязнения и др. (Д 5).

Продолжим анализ угроз и рисков в сфере ОРБ, среди которых важны природные и техногенные угрозы и риски, как это показано в таблице 4. К природным, в том числе, относятся угрозы и риски нерadioлогического характера, которые или создают угрозы выбросов/сбросов радиоактивных веществ в окружающую среду или усугубляют последствия реализации техногенных угроз и рисков, или создают условия для трансфера радионуклидов в биосфере (ПР 2, ПР 3, П 8), как это показано в таблице 3.

Для целей ОРБ имеют значения такие природные риски как опасные гидрометеорологические явления (ветры и ураганы, экстремальные температуры и осадки, наводнения высокий уровень грунтовых вод, природные пожары, гололед и обледенения, а также молнии и сопровождающее их сильное электромагнитное излучение) и сейсмические явления (землетрясения, обвалы, просадки и оседания грунта), которые могут воздействовать на целостность и надежность защитных конструкций и функционирование вспомогательных систем и коммуникаций на ядерно- и радиационно-опасных объектах (ПР 2). Примером такого воздействия может служить катастрофа на Фукусимской АЭС в 2011 году (Д 2 + ПР 2), для которой источником реализованных угроз и рисков стало природное явление сейсмического характера – цунами.

Другим примером природных рисков гидрометеорологического характера являются явления, способствующие возрастанию радиоактивного загрязнения в отдельных элементах окружающей среды, в том числе в почвах или донных отложениях.

Геофизические явления могут иметь значение с точки зрения повышения дозы естественной облучения от ПРФ, например, повышение удельной активности радионуклидов «космического генезиса» (бериллия-7, углерода-14, трития и др.) вследствие увеличения солнечной активности. Также можно говорить об увеличении удельной активности радионуклидов «террогенного генезиса» (радионуклидов уран-ториевого ряда, в первую очередь радона-226 в почвенном воздухе, например вследствие увеличения сейсмической активности).

Следует отметить, что в выделенных категориях рисков отсутствует свойство взаимной компенсации последствий и ущербов при их воздействии, напротив, возможно усугубление при их одновременном присутствии. Можно отметить закономерность: чем большее количество чистых рисков или категорий чистых рисков будет оказывать влияние на процессы изменения радиационной обстановки, тем более будет усугубляться негативные последствия для объектов радиационной защиты.

Общий алгоритм управления рисками в сфере ОРБ

Для достижения целей ОРБ при аварийном облучении или при угрозе его возникновения, а так же в условиях ситуации существующего облучения возникает необходимость перевода ситуации риска / ситуации неопределенности в стадию ситуации достоверности, что требует, как это показано выше, достаточного объема информации надлежащего состава и качества, а также выбора стратегии обработки риска и ее последующей реализации.

Предлагаемый общий алгоритм управления рисками основывается на адаптированных к сфере ОРБ подходах, описанных выше и представленных в виде основных элементов (А–F), которые, в том числе, предусматривают выбор стратегии обработки риска.

Таблица 4 – Природные и техногенные угрозы и риски в сфере ОРБ на территории Республики Беларусь

	Источник угрозы (опасности)	Угроза (опасность)	Риски (ущербы)	
			Прагматический подход	Комплексный биосферный подход
Природные риски				
ПР 1	Естественная радиоактивность в окружающей среде	Облучение от ПРФ	Дозовые нагрузки на население от ПРФ (учитываются как фоновые)	отсутствуют
ПР 2	Природные явления, в т. ч. стихийные бедствия, с созданием ЧС природного характера: геологические, метеорологические гидрологические	Воздействие на потенциально-опасные объекты с созданием ЧС техногенного характера	Дозовые нагрузки на население	Загрязнение окружающей среды и дозовые нагрузки на биоту
ПР 3	Природные явления, в т. ч. стихийные бедствия, с созданием ЧС природного характера: геологические, метеорологические гидрологические	Воздействие на существующее радиоактивное загрязнение природной среды, создающее условия для масштабного переноса радионуклидов в окружающей среде	Дополнительные к существующим дозовые нагрузки на население	Дополнительное загрязнение окружающей среды и дозовые нагрузки на биоту
ПР 4	Метеорологические, гидрологические и иные процессы переноса вещества и энергии в окружающей среде	Воздействие на аварийное и существующее радиоактивное загрязнение природной среды, создающее условия для масштабного переноса радионуклидов в окружающей среде	Дополнительные к существующим дозовые нагрузки на население	Дополнительное загрязнение окружающей среды и дозовые нагрузки на биоту
Техногенные риски				
Т 1	Испытания и применение (1945 г.) ядерного оружия в окружающей среде	Поступление радиоактивных материалов в окружающую среду и их распределение по резервуарам биосферы	Дозовые нагрузки на население	Загрязнение окружающей среды и дозовые нагрузки на биоту
Т 2	Эксплуатация ядерно-опасных объектов, ОИАЭ (Д 3, Д 4, Д 5, Д 6)	Штатные (технологические) выбросы радиоактивных материалов в окружающую среду	Дозовые нагрузки на персонал, и, возможно, население	Загрязнение окружающей среды и дозовые нагрузки на биоту
Т 3	Нарушения требований обращения с ИИИ при их использовании в научных исследованиях, технологических процессах, медицине, в строительстве и т. д. (Д 5, Д 6)	Поступление радиоактивных материалов в окружающую среду и их распределение по резервуарам биосферы	Дозовые нагрузки на персонал и, возможно, население	Загрязнение окружающей среды и дозовые нагрузки на биоту
Т 4	Аварии ОИАЭ с выбросом (угрозой выброса) радиоактивных веществ (Д 3, Д 4)	Поступление радиоактивных материалов в окружающую среду и их распределение по резервуарам биосферы	Дозовые нагрузки на персонал и население	Загрязнение окружающей среды и дозовые нагрузки на биоту
Т 5	Пропажа или кража ИИИ, в т. ч. радиоактивных отходов (П 7)	Поступление радиоактивных материалов в окружающую среду и их распределение по резервуарам биосферы	Дозовые нагрузки на персонал, население	Загрязнение окружающей среды и дозовые нагрузки на биоту
Т 6	Незаконный оборот и использование радиоактивных материалов и источников ионизирующего облучения (ИИИ) (П 4)	Поступление радиоактивных материалов в окружающую среду и их распределение по резервуарам биосферы	Дозовые нагрузки на население	Загрязнение окружающей среды и дозовые нагрузки на биоту
Т 7	Аварии при транспортировке радиоактивных материалов (П 5)	Поступление радиоактивных материалов в окружающую среду и их распределение по резервуарам биосферы	Дозовые нагрузки на персонал и население	Загрязнение окружающей среды и дозовые нагрузки на биоту
Т 8	Радиологический / ядерный терроризм (П 6)	Поступление радиоактивных материалов в окружающую среду и их распределение по резервуарам биосферы	Дозовые нагрузки на население	Загрязнение окружающей среды и дозовые нагрузки на биоту

Анализ практической деятельности с использованием атомной / ядерной энергии показывает, что применительно к сфере ОРБ стратегия отказа (от деятельности), принятия и исключения риска в условиях существующей или планируемой деятельности неприменимы по определению, так как угрозы и риски возникают естественным образом, как только в процессе такой деятельности планируется и создается ОИАЭ/ИИИ как источник угроз и рисков, что само по себе является объективным свойством мира.

Механизмы управления рисками в виде необходимых действий, сформированных в блоки с указанием последовательности выполнения и действующих обратных связей, представлены в виде общего алгоритма управления рисками в сфере ОРБ (рисунок 3).

Выше подробно представлена информация по блокам I, II и III, которые соответствуют элементам А, В и F, причем последний (F) в фазе IV, реализуется в том числе через обратные связи в системе.

Согласно предложенному алгоритму, на первых этапах (блоки I, II и III) дается общая оценка уровня радиационной безопасности на основании анализа существующей и планируемой деятельности в сфере ОРБ, например, эксплуатация Белорусской АЭС и проектирование объектов хранения и захоронения РАО, выявляются уязвимые объекты и т. д. Отметим, что оценка уязвимости должна выполняться систематически с учетом результатов деятельности в сфере ОРБ, планируемой деятельности и анализа динамики угроз и рисков в фазах I и II.

С точки зрения ОРБ и обеспечения эффективного функционирования системы радиационного мониторинга наиболее интересным представляется элемент (С) и, соответственно, блок IV. Именно на этом этапе осуществляется идентификация и категоризация действующих и потенциальных угроз и рисков с оценкой диапазона степени риска RR (таблицы 2, 3 и 4).

Отметим, что для целей ОРБ можно использовать следующие стратегии обработки рисков (элемент D): снижение/минимизация, удержание и передача риска (блок V).

Стратегию «снижения риска» для ОРБ можно рассматривать как превентивные действия, которые должны обеспечиваться комплексом мер (блок VI), направленных на снижение уязвимости объектов защиты: управленческих, нормативных, административных, организационных и технических и технологических мероприятий. К таким механизмам в сфере ОРБ относится, в том числе, аварийное планирование, и в настоящее время в Республике Беларусь действует План защитных мероприятий при радиационной аварии на Белорусской атомной электростанции (Внешний аварийный план), утвержденный постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 22 марта 2018 № 211.

Особого внимания заслуживает механизм «удержания риска», который определяется, прежде всего, финансовой и социально-политической приемлемостью степени риска для страны. Финансовая приемлемость риска оценивается в каждой конкретной ситуации в конкретном временном периоде и, в свою очередь, связана с его социальной приемлемостью. Механизм «удержания риска» является основным в условиях преодоления последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС и в Беларуси и реализуется через многолетние государственные и иные программы по ликвидации и минимизации ее последствий.

Механизм «удержания риска» предполагает, что основные потери и ущербы от реализованных рисков и угроз, в данном случае, катастрофы на Чернобыльской АЭС, определены, оценены и находятся в стадии ликвидации и (или) минимизации, когда *RR* находится в диапазоне 15–20 и стремится к диапазону 10–14.

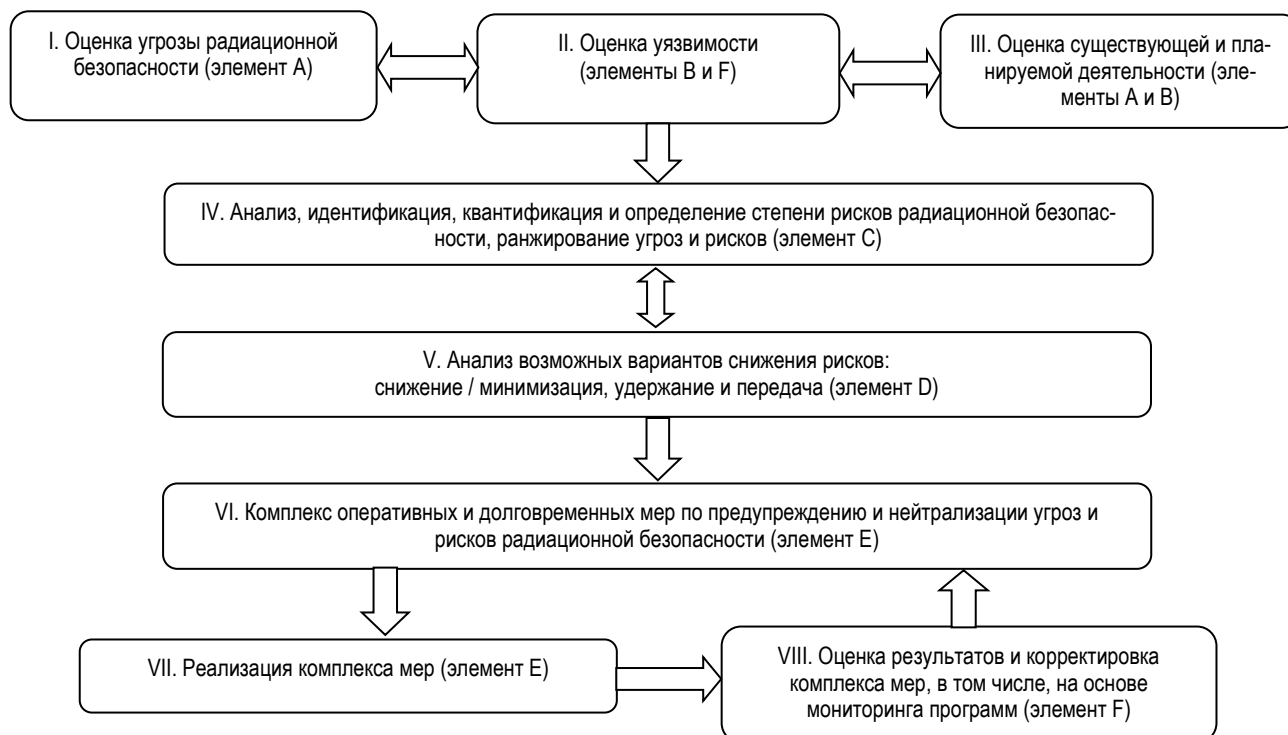


Рисунок 3 – Общий алгоритм управления рисками радиационной безопасности

Кроме того, должны быть выполнены прогнозные оценки будущих рисков, в том числе, для окружающей среды, которые могут трансформироваться в ущербы, например, увеличение территорий, загрязненных америцием-241, а также проведены оценки стоимости реализации государственных программ по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС с учетом текущих и прогнозных оценок ущербов и рисков. В такой ситуации механизм «удержания риска» должен обеспечивать негативное воздействие действующих и потенциальных угроз и рисков от идентифицированного источника – радиоактивного загрязнения окружающей среды Республики Беларусь на уровне, не большем, чем на момент начала реализации программ, при этом обеспечивая их постепенное снижение.

Финансовая приемлемость рисков обеспечивается за счет оптимизации мероприятий программ защиты в текущем периоде путем применения максимально возможной защиты, исходя из критерия ее достижимости (выполнимости) в технико-технологическом и социально-экономическом смысле. Отметим, что такой подход соответствует принципу оптимизации ALARA (as low as reasonably achievable), применяемому в практике ОРБ, которые предполагают обеспечение максимального уровня защиты, например, поддержание индивидуальных доз на возможно низком и достижимом уровне, с учетом экономических и социальных факторов и возможностей страны или ALAP, принятом в менеджменте риска, который предполагает, согласно [3], что возможность ущерба при высоких рисках должна быть снижена до того уровня, когда затраты на дальнейшее

снижение не станут «явно непропорциональными полученным преимуществам в безопасности».

Важно напомнить, что фазе IV блок VI, помимо других мер, например, мероприятий по аварийному реагированию, включает в себя систему мониторинга и прогноза радиационной обстановки в окружающей среде. Используя метод обратной связи, по результатам реализации комплекса мер (блок VII) можно оценить эффективность действующей системы ОРБ и системы радиационного мониторинга на разных этапах проводимой деятельности и корректировать ее (блоки VIII и блок VI).

Именно такие системные корректирующие действия, реализуемые в Республике Беларусь с 1987 года, позволили привести систему радиационного мониторинга окружающей среды в состояние, когда представляемая информация о радиоактивном загрязнении окружающей среды в условиях «чернобыльского» радиоактивного загрязнения, а также в условиях строительства и эксплуатации Белорусской АЭС, позволяет достичь социально приемлемого уровня ОРБ.

Заключение

Рассмотрены и адаптированы к сфере ОРБ общие подходы к управлению рисками, связанными с радиоактивным загрязнением окружающей среды.

Представлена адаптированная к целям ОРБ модель деятельности по обеспечению безопасности, состоящая из четырех фаз, установлены и описаны взаимосвязи между составом деятельности в различных фазах и элементами управления радиэкологическими.

Идентифицированы и описаны 15 основных действующих и потенциальных, природных и техногенных угроз и рисков применительно к сфере ОРБ Республики Беларусь.

С применением логико-исторического анализа показано, что из-за расширения деятельности с использованием ядерной энергии состав действующих и потенциальных угроз и рисков постоянно увеличивается, в связи с чем актуальность проблем в сфере ОРБ имеет устойчивую тенденцию к возрастанию. Для Республики Беларусь оценки степени риска *RR* идентифицированных на настоящее время угроз и рисков изменяются от 4 до 19.

Представлены и описаны шесть основных категорий угроз и рисков, важных для ОРБ, при этом выявлено, что социальные риски являются равнозначными наряду с остальными рисками и способствуют возникновению проблемных ситуаций.

Предложена логическая структура универсальной модели состава и качества информации в условиях реализации прагматического и комплексного биосферного подходов для задач радиационного мониторинга окружающей среды позволяет оценить источники таких неопределенности и уменьшить сами неопределенности через механизмы управления рисками в сфере ОРБ.

Разработана и предложена расширенная и калиброванная матрица оценок степени риска *RR* (*RR6* Матрица) с введением новой градации «реализованного события – действующего источника риска», в которую включены оценки верхних и нижних границ диапазонов *RR*.

Показано, что вероятностная природа рисков в сфере ОРБ отражается в уменьшении шага квантификации внутри диапазонов от большего к меньшему (5 → 4 → 3 → 2 → 1): от ситуации с высокой неопределенностью (ситуации высокого риска/негативный сценарий) к ситуации достоверности (ситуации отсутствия явного риска / благоприятный сценарий).

Научно обоснованы и описаны основные механизмы управления рисками в сфере ОРБ в виде структуры и элементов модели деятельности (А – F) и общего алгоритма управления рисками с заданными обратными связями. Показано, что стратегия «удержания риска» является основной в условиях преодоления последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС и в Беларуси реализована через многолетние государственные и иные программы по ликвидации и минимизации ее последствий, а стратегия «минимизации риска» рассматривается как превентивные действия, например, План защитных мероприятий при радиационной аварии на Белорусской атомной электростанции.

Полученные результаты будут использованы для комплексной оценки риска и повышения социальной приемлемости уровня ОРБ человека и объектов окружающей среды через совершенствование механизмов управления рисками, в том числе путем мониторинга и прогноза радиационной обстановки в окружающей среде и создания программно-аппаратного комплекса для:

- формирования реестра рисков в сфере ОРБ для их последующей обработки и ранжирования;
- мониторинга радиационной обстановки, в том числе с использованием технических систем (АСКРО и др.);
- прогноза радиационной обстановки при различных типах ситуаций облучения и сценариев реализации рисков.

Работа выполнена в рамках задания НИР 1 «Оценка и прогноз радиоактивного загрязнения окружающей среды вокруг радиационно опасных объектов на основе экспериментальных и расчетных методов (моделирование)» в рамках задания 3.05 «Развитие информационного и методического обеспечения мониторинга, аудита, сертификации и реабилитации природно-территориальных комплексов», №ГР20211720 подпрограммы «Радиация и биологические системы» ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 годы.

Список цитируемых источников

1. Международный стандарт ISO 31000:2018 «Risk management – Guidelines» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iso.org/ru/iso-31000-risk-management.html>. – Дата доступа: 15.02.2024.

2. «General Safety Guide No. GSG-10 IAEA Safety Standards for Prospective Radiological Environmental Impact Assessment for Facilities and Activities» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1819_web.pdf. – Дата доступа: 15.02.2024
3. Менеджмент риска. Техники оценки риска : СТБ IEC 31010-2022. – Введ. 01.08.2023. – Минск : Госстандарт, 2023. – 116 с.
4. Руководящие принципы мониторинга и оценки трансграничных озер. Рабочая группа Европейской экономической комиссии по мониторингу и оценке [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://unece.org/DAM/env/water/publications/assessment/Lakesguidelines_A_B_russian.pdf. – Дата доступа: 15.02.2024.
5. О радиационной безопасности [Электронный ресурс] : Закон Республики Беларусь от 18.06.2019 N 198-3 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 26.06.2019, 2/2636. – Режим доступа: https://pravo.by/upload/docs/op/H11900198_1561496400.pdf. – Дата доступа: 15.02.2024.
6. Глоссарий МАГАТЭ по вопросам безопасности. «Терминология, используемая в области ядерной безопасности и радиационной защиты» / IAEA – SPI/PUB/1290: IAEA, VIENNA, 2007. – 303 p.
7. Герменчук, М. Г. Научные основы радиационного мониторинга окружающей среды и роль гидрометеорологической службы в его организации на примере катастрофы на ЧАЭС / М. Г. Герменчук, О. М. Жукова // Экологический вестник. – Минск : МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, 2014. – № 4. – С. 12–25.
8. Герменчук, М. Г. Радиационный мониторинг окружающей среды : учебное пособие / М. Г. Герменчук. – Минск : Вышэйшая школа, 2021. – 278 с.
9. Сосунова, И. А. Методология и методы современной социальной экологии / И. А. Сосунова. – М. : МНЭПУ, 2010. – 400 с.

References

1. Mezhdunarodnyj standart ISO 31000:2018 «Risk management – Guidelines» [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.iso.org/ru/iso-31000-risk-management.html>. – Data dostupa: 15.02.2024.
2. «General Safety Guide No. GSG-10 IAEA Safety Standards for Prospective Radiological Environmental Impact Assessment for Facilities and Activities» [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1819_web.pdf. – Data dostupa: 15.02.2024
3. Menedzhment riska. Tekhniki ocenki riska : STB IEC 31010-2022. – Vved. 01.08.2023. – Minsk : Gosstandart, 2023. – 116 s.
4. Rukovodyashchie principy monitoringa i ocenki transgranichnyh ozer. Rabochaya gruppa Evropejskoj ekonomicheskoj komissii po monitoringu i ocenke [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: https://unece.org/DAM/env/water/publications/assessment/Lakesguidelines_A_B_russian.pdf. – Data dostupa: 15.02.2024.
5. O radiacionnoj bezopasnosti [Elektronnyj resurs] : Zakon Respubliki Belarus' ot 18.06.2019 N 198-Z // Nacional'nyj pravovoj Internet-portal Respubliki Belarus', 26.06.2019, 2/2636. – Rezhim dostupa: https://pravo.by/upload/docs/op/H11900198_1561496400.pdf. – Data dostupa: 15.02.2024.
6. Glossarij MAGATE po voprosam bezopasnosti. «Terminologiya, ispol'zuemaya v oblasti yadernoj bezopasnosti i radiacionnoj zashchity» / IAEA – SPI/PUB/1290: IAEA, VIENNA, 2007. – 303 p.
7. Germenchuk, M. G. Nauchnye osnovy radiacionnogo monitoringa okruzhayushchej sredy i rol' gidrometeorologicheskoy sluzhby v ego organizacii na primere katastrofy na CHAES / M. G. Germenchuk, O. M. Zhukova // Ekologicheskij vestnik. – Minsk : MGEI im. A. D. Saharova BGU, 2014. – № 4. – S. 12–25.
8. Germenchuk, M. G. Radiacionnyj monitoring okruzhayushchej sredy : uchebnoe posobie / M. G. Germenchuk. – Minsk : Vyshejschaya shkola, 2021. – 278 s.
9. Sosunova, I. A. Metodologiya i metody sovremennoj social'noj ekologii / I. A. Sosunova. – M. : MNEPU, 2010. – 400 s.

Материал поступил 12.03.2024, одобрен 18.03.2024, принят к публикации 18.03.2024