

М.Г. Герменчук

РАДИАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Допущено
Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебного пособия
для студентов учреждений высшего образования
по специальностям
«Природоохранная деятельность (по направлениям)»,
«Ядерная и радиационная безопасность»



Минск
«Вышэйшая школа»
2021

УДК 502.175:614.876.084(075.8)
ББК 20.18я73
Г38

Рецензенты: кафедра тепловых электрических станций Белорусского национального технического университета (заведующий кафедрой доктор технических наук, профессор *Н.Б. Карницкий*); заведующий кафедрой экологии и географии Витебского государственного университета имени П.М. Машерова доктор биологических наук, доцент *Г.Г. Сушко*

Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или любой ее части не может быть осуществлено без разрешения издательства.

ISBN 978-985-06-3324-8

© Герменчук М.Г., 2021
© Оформление. УП «Издательство
“Вышэйшая школа”», 2021

ПРЕДИСЛОВИЕ

Обеспечение безопасности страны, в том числе экологической и радиационной, населения и окружающей среды является одной из приоритетных задач национальной безопасности Республики Беларусь.

Концепция Национальной безопасности Республики Беларусь (далее – Концепция) определяет «безопасность» как «обеспечение баланса интересов личности, общества, государства и их защита от внутренних и внешних угроз» [1]. Абсолютную безопасность человека, биосферы, общества и государства обеспечить невозможно, однако можно уменьшить степень угроз, уязвимости и связанные с ними риски, в частности в сфере радиационной безопасности.

Анализ последствий катастрофы на Чернобыльской атомной электростанции (АЭС) показывает, что без комплексной оценки действующих и потенциальных угроз и своевременного системного планирования защитных мер невозможно обеспечить социально-приемлемый уровень радиационной безопасности населения и окружающей среды. Отсутствие таких оценок и подходов нанесло огромный ущерб социальному и экологическому благополучию Беларуси, в том числе здоровью населения, экономике и окружающей среде, в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС в 1986 г. С позиции современных подходов по обеспечению безопасности понятно, что в значительной мере эти ущербы можно было минимизировать, а в некоторых случаях предотвратить, за счет создания систем раннего аварийного реагирования, а также эффективного функционирования систем радиационного мониторинга окружающей среды.

Анализ безопасности человека и окружающей среды в Беларуси показывает, что на современном этапе существуют угрозы и риски в области обеспечения радиационной безопасности (*safety*¹), которые могут быть связаны с практической деятельностью человека.

Во-первых, радиоактивное загрязнение окружающей среды после катастрофы на Чернобыльской АЭС останется источником угрозы радиационной безопасности населения и окружающей среды на очень длительный период (сотни, а для территории Полесского государственного радиэкологического заповедника Республики Беларусь – тысячи лет).

Во-вторых, события на Фукусимской АЭС еще раз подтвердили необходимость поддерживать постоянную готовность к реагированию на радиоактивное загрязнение окружающей среды за счет переноса в трансграничном контексте (включая на дальние расстояния).

В-третьих, на территории Беларуси появился новый источник радиационной опасности – Белорусская АЭС.

¹ Здесь и далее, если не указано иное, перевод на английский язык дан в терминах Глоссария Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) «Глоссарий МАГАТЭ по вопросам безопасности. Терминология, используемая в области ядерной безопасности и радиационной защиты» [2].

В-четвертых, в производственной, медицинской, научной сферах широко используются источники ионизирующего излучения, ядерные и радиоактивные материалы. По территории страны осуществляется их транзит, при этом также возможно и незаконное перемещение через государственную границу. Следует обратить внимание на рост опасности международного радиологического терроризма.

В связи с этим необходимо дальнейшее совершенствование научно обоснования действий по уменьшению степени рисков, т.е. минимизации вероятности причинения вреда или ущерба от воздействия ионизирующего излучения вследствие практической деятельности человека.

Для эффективного решения данной задачи и своевременного выявления радиационной опасности и оценки ее степени, в том числе за счет радиоактивного загрязнения окружающей среды, необходимо иметь набор научно обоснованных действий по управлению рисками в сфере радиационной безопасности.

Действия, направленные на смягчение рисков и уменьшение их степени (далее – управление рисками), «включают в себя разработку и практическую реализацию комплекса оперативных и долговременных мер по предупреждению и нейтрализации рисков, вызовов и угроз национальной безопасности», в частности радиационной безопасности [1].

Система радиационного мониторинга окружающей среды выступает одним из ключевых элементов такого комплекса мер в сфере обеспечения радиационной безопасности, поэтому ее эффективное функционирование является важным фактором обеспечения радиационной безопасности страны.

Представленный в пособии анализ источников радиационной опасности позволяет оценить значимость действующих и потенциальных угроз и рисков и определить место системы радиационного мониторинга в общей системе радиационной безопасности.

В пособии описаны категории угроз, проведен анализ рисков и описаны критерии оценки радиационной обстановки, а также основные подходы к формированию стратегии и программам радиационного мониторинга.

Особое внимание уделено описанию действующей системы законодательного регулирования обеспечения радиационной безопасности и радиационного мониторинга в Республике Беларусь. На примере последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС для экономики и окружающей среды приведены оценки финансовых рисков и ущербов в сфере ядерной и радиационной безопасности.

Пособие содержит развернутое описание научных представлений по проблемам радиоактивного загрязнения окружающей среды и представляет структуру понятийного аппарата радиационного мониторинга. Оно описывает научно обоснованные методы выявления, описания и разрешения проблемных ситуаций в сфере радиационной безопасности.

С использованием методов системного анализа приводится описание требований к эффективности системы, а также циклов развития системы радиационного мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь. Оценена динамика функционирования эффективности системы радиационного мониторинга в Республике Беларусь в различные периоды ее развития, начиная с середины XX в. Описаны научно-методические основы совершенствования системы радиационного мониторинга окружающей среды.

Пособие содержит основные результаты изучения радиоактивного загрязнения окружающей среды в Республике Беларусь за последние десятилетия, начиная с 1960-х гг. В нем описаны системные требования к формированию информационных потребностей, базовые принципы создания программ радиационного мониторинга, требования к информационным ресурсам радиационного мониторинга.

При подготовке издания широко использованы результаты научных исследований в области радиационного мониторинга окружающей среды, полученные в период с 1986 г. до настоящего времени, в том числе в процессе создания системы радиационного мониторинга после катастрофы на Чернобыльской АЭС в конце XX в., а затем в XXI в. в районе размещения Белорусской АЭС, а также уникальный практический опыт в управлении системой радиационного мониторинга окружающей среды. При работе над пособием были использованы знания, полученные в ходе тесного сотрудничества по рассматриваемой проблеме со специализированными международными организациями (МАГАТЭ, Международной комиссией по радиационной защите (МКРЗ), Научным комитетом по действию атомной радиации (НКДАР) и *European Atomic Energy Community (EAEC / Euratom)*), а также ведущими специалистами зарубежных стран.

Подчеркивается выдающаяся роль белорусских ученых, которые стали основоположниками белорусской школы радиоэкологии: В.Б. Нестеренко, Е.П. Петряев, В.И. Тернов, Ю.К. Щекин, А.Н. Девойно, И.М. Богдевич, Я.Э. Кенигсберг, С.К. Фирсакова, Э.Д. Шагалова, Е.П. Конопля, М.Г. Герменчук, О.М. Жукова, В.Ю. Агеец, Н.Н. Цыбулько, В.С. Аверин, Г.А. Соколик, А.М. Дворник, Ю.М. Жученко, И.Г. Тарутин, А.И. Тимошенко, В.А. Чудаков, В.А. Кожемякин, В.В. Дроздович, В.П. Миронов и др.

Огромный вклад в развитие «чернобыльской» радиоэкологии внесли выдающиеся ученые Украины и России: украинские ученые-радиоэкологи Б.Д. Пристер, В.А. Кашпаров, О.В. Войцехович и др.; российские ученые-экологи Ю.А. Израэль, С.М. Вакуловский, Р.А. Алексахин, Ф.И. Павлоцкая, Ц.И. Бобовникова, Е.Д. Стукин, Е.В. Квасникова, Н.И. Санжарова, И.И. Крышев, В.А. Ветров, А.В. Коноплев, К.П. Маханько, В.М. Шершаков, С.М. Шинкарев, Ю.И. Гаврилин, В.Т. Хрущ, И.И. Линге, Р.В. Арутян и др.

Представленные в пособии научно-методические подходы к обеспечению радиационной безопасности населения и окружающей среды

соответствуют международной практике и базируются на рекомендациях международных организаций, таких как МАГАТЭ и МКРЗ. В тексте используются эквиваленты терминов в области ядерной безопасности и радиационной защиты на английском языке согласно Глоссарию МАГАТЭ по вопросам безопасности [2].

Предназначено для студентов, магистрантов, аспирантов учреждений высшего образования, обучающихся по специальностям «Ядерная и радиационная безопасность 1-100 01 01», «Биоэкология 1-33 01 01», «Медицинская экология 1-33 01 05», «Медико-биологическое дело 1-80 02 01», «Экологический мониторинг 1-33 01 07-02», «Экологический менеджмент и экспертиза 1-33 01 07-01», «Информационные системы и технологии (в экологии) 1-40 01 02-06», «Информационные системы и технологии (в здравоохранении) 1-40 01 02-07», а также частично по специальностям «Ядерная физика и технологии 1-31 04 01» и «Геоэкология 1-33 01 02».

Пособие может быть использовано для лекционных и практических занятий, самостоятельной работы студентов, магистрантов, аспирантов, изучающих научные основы и практику радиационного мониторинга окружающей среды как элемент системы обеспечения радиационной безопасности человека и биосферы, а также для практических работников в сфере ядерной и радиационной безопасности.

Автор выражает искреннюю благодарность кандидату технических наук, доценту О.М. Жуковой, кандидату физико-математических наук, доценту А.И. Тимошенко, доктору физико-математических наук, доценту А.И. Киевицкой, доктору технических наук, профессору В.К. Липскому, а также М.А. Подгайской, Ю.Н. Голикову и Н.Н. Коряковой за высказанные замечания и оказанную помощь при подготовке пособия.

Автор благодарит рецензентов: кафедру «Тепловые электрические станции» Белорусского национального технического университета и заведующего кафедрой доктора технических наук, профессора Н.Б. Карницкого, кафедру экологии и географии Витебского государственного университета имени П.М. Машерова и заведующего кафедрой доктора биологических наук, доцента Г.Г. Сушко за высказанные замечания и предложения при подготовке издания.

ВВЕДЕНИЕ

Проблеме обеспечения радиационной безопасности² (в терминах МАГАТЭ – «радиационная или радиологическая защита и безопасность (*radiation protection and safety (also radiological protection)*)») населения посвящены разнообразные исследования, выполненные методами, которые используются различными научными дисциплинами. Эти исследования связаны с ядерной физикой, математикой, гидрометеорологией, атомной техникой, экологией и геоэкологией, информатикой, эпидемиологией, экономикой, радиационной защитой населения и окружающей среды при чрезвычайных ситуациях и т.д.

Основной целью дисциплины «Радиационный мониторинг» является изучение системы радиационного мониторинга окружающей среды как элемента системы обеспечения радиационной безопасности человека и окружающей среды.

Термин «мониторинг» часто используется в целях обеспечения радиационной безопасности [2], а также в научной и популярной литературе, описывающей взаимодействие окружающей среды и ионизирующего излучения. Нужно иметь в виду, что в пособии общие требования, предъявляемые к мониторингу в целом, адаптированы к конкретному виду мониторинга – радиационному мониторингу окружающей среды (далее – радиационный мониторинг).

Законом Республики Беларусь «О радиационной безопасности населения», принятом в 1998 г., радиационная безопасность определена как «состояние защищенности настоящего и будущих поколений людей от вредного воздействия ионизирующего излучения» [3], которое полностью согласуется с подходами, предлагаемыми МАГАТЭ. Так, 18 июня 2019 г. был принят Закон Республики Беларусь «О радиационной безопасности», который понятие «радиационная безопасность» определяет как «состояние защищенности населения, персонала и окружающей среды от вредного воздействия ионизирующего излучения» [4]. В гл. 1 и 8 будет показано, что эти определения дополняют друг друга и позволяют формировать эффективные механизмы обеспечения радиационной безопасности.

Для обеспечения радиационной безопасности в целом, включая население и окружающую среду, необходимо решать две задачи: прагматическую и комплексную биосферную.

Прагматическая задача заключается в гарантии «защищенности настоящего и будущего поколений от воздействия ионизирующего излучения» или «населения и персонала» и решается, прежде всего, для

² Согласно Глоссарию МАГАТЭ по вопросам безопасности защита (*protection and safety*) от излучения: радиационная защита (также радиологическая защита) (*radiation protection (also radiological protection)*) – защита людей от облучения в результате воздействия ионизирующих излучений и средства ее обеспечения.

настоящего поколения через текущие и прогнозные оценки внешней и внутренней доз облучения населения.

Комплексная биосферная задача состоит в «создании принципов доказательства достаточной защищенности окружающей среды» и решается через изучение и оценку радиационной обстановки в биосфере в целом и ее отдельных резервуарах. Такой подход обеспечивает реализацию рекомендаций публикаций МКРЗ, где помимо «практики вмешательства (*intervention*)» в области радиационной защиты предполагается создание принципов доказательства достаточной защищенности окружающей среды [5, 6, 7]. Решение комплексной задачи в сфере радиационной безопасности позволяет изучить пути формирования доз облучения биотических объектов, включая человека, и дать прогноз радиоактивного загрязнения отдельных элементов биосферы с учетом механизмов миграции радионуклидов в окружающей среде.

Следует обратить внимание, что решение комплексной биосферной задачи позволяет обеспечить защищенность не только настоящего, но и «будущих поколений людей от вредного воздействия ионизирующего излучения». Комплексный биосферный подход предполагает использование еще одной категории облучения: облучение некоторых объектов окружающей среды (животных и растений) в их естественной среде.

Для решения как прагматической, так и комплексной задачи обеспечения радиационной безопасности на социально-приемлемом уровне требуется эффективная система радиационного мониторинга окружающей среды, которая является одним из важнейших элементов системы управления рисками, в том числе радиационными [1, 8, 9].

При формировании научных подходов к развитию и совершенствованию радиационного мониторинга в современных условиях с учетом появления новых угроз и рисков в области обеспечения радиационной безопасности необходимо принять, что *радиационный мониторинг является сложной системой, которая включает в себя типологически несходные подсистемы* (технические, социальные, информационные и т.д.).

Система радиационного мониторинга окружающей среды в математическом смысле может быть строго описана с точки зрения системного анализа и общей теории систем, законам которой она подчиняется.

Следует также принять, что главный результат функционирования системы радиационного мониторинга окружающей среды — это получение текущей и прогнозной информации о радиационной обстановке в окружающей среде для предоставления заинтересованным информационным группам (органы государственного управления, ответственные за обеспечение радиационной безопасности, субъекты экономики, СМИ и население, научная общественность и т.д.).

Эффективность функционирования системы радиационного мониторинга окружающей среды оценивается по двум основным параметрам, которые являются ее системными (генеральными) целями.

Системными (генеральными) целями радиационного мониторинга окружающей среды являются:

➤ обеспечение радиационной безопасности на каждом этапе развития общества и страны через получение и своевременное представление информации о радиационной обстановке в окружающей среде заинтересованным информационным группам с учетом типа ситуации облучения;

➤ оптимальное использование доступных средств и ресурсов для обеспечения радиационной безопасности на социально-приемлемом уровне.

Достижение системных целей радиационного мониторинга базируется на том, что система должна:

➤ учитывать действующие и потенциальные угрозы и риски в области радиационной безопасности населения и окружающей среды Республики Беларусь;

➤ учитывать и удовлетворять информационные потребности в сфере радиационной безопасности;

➤ постоянно совершенствоваться с использованием научно обоснованных подходов;

➤ применять современные наблюдательные и информационные технологии;

➤ иметь оптимальные ресурсы для достижения планируемых целей.

Удовлетворительное выполнение этих условий и поддержание устойчивого функционирования системы радиационного мониторинга являются критериями ее эффективности.

На территории Республики Беларусь существовали и существуют все три типа ситуаций облучения (аварийного, существующего и планируемого), что обусловлено радиоактивным загрязнением окружающей среды после катастрофы на Чернобыльской АЭС, использованием ядерных технологий в науке, промышленности и медицине, а также строительством и эксплуатацией Белорусской АЭС.

Функционирование и управление системой радиационного мониторинга окружающей среды базируется на следующих основных направлениях: правовом, организационном, техническом и научном.

Правовое направление включает в себя формирование, актуализацию и применение нормативной правовой и нормативной технической базы, необходимой для функционирования системы радиационного мониторинга (от законов Республики Беларусь и постановлений Правительства до локальных нормативных правовых и технических актов), а также рекомендаций МАГАТЭ, МКРЗ, Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) и других международных организаций.

Организационное направление основывается на программно-целевом подходе и включает в себя:

➤ планирование деятельности в части формирования государственных и иных программ в области ядерной и радиационной безопасности, а также программ в области охраны окружающей среды. При этом

планирование осуществляется на основе мониторинга состава действующих и потенциальных угроз, изменений информационных потребностей в сфере безопасности с учетом прогнозов состояния и эффективности самой системы радиационного мониторинга;

- изучение текущих и прогнозируемых информационных потребностей органов государственного управления, ответственных за обеспечение радиационной безопасности, субъектов экономики, СМИ и населения, научной общественности на каждом этапе социально-экономического развития страны;

- оценку и обеспечение необходимых ресурсов для реализации программ, в том числе финансовых и человеческих;

- поддержание компетенций, персонала, экспертных организаций и экспертов на уровне, соответствующем текущим и перспективным задачам в области ядерной и радиационной безопасности, внедрение основ культуры безопасности;

- мониторинг и контроль выполнения программ и своевременная их корректировка, в том числе по целевым показателям и необходимым ресурсам.

Техническое направление включает в себя:

- внедрение и использование наилучших доступных технологий в области измерений радиоактивности в окружающей среде, а также информационных технологий, систем связи и обработки, хранения и предоставления данных;

- поддержание действующей системы в рабочем состоянии, своевременное обновление технической и технологической базы с учетом физического и морального старения элементов систем;

- внедрение, применение и актуализацию средств программного обеспечения, расчетных кодов.

Научное направление включает в себя:

- разработку и совершенствование методов прогнозирования радиационной обстановки в окружающей среде, в том числе у четом типа ситуации облучения;

- разработку новых технологий и приборов для оценки радиационной обстановки в окружающей среде;

- разработку и совершенствование методов прогнозирования состояния системы радиационного мониторинга окружающей среды в зависимости от результатов мониторинга состава, действующих и потенциальных угроз и изменений информационных потребностей в сфере безопасности, а также технического состояния систем с учетом процессов физического и морального старения;

- разработку и внедрение современных методов управления системой, в том числе управление качеством;

- формирование баз данных о состоянии системы и баз знаний в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности;

➤ текущие, ретроспективные и перспективные оценки эффективности системы радиационного мониторинга окружающей среды.

Оценка функционирования и эффективности управления системой радиационного мониторинга основывается на методах системного анализа, общей теории систем, постоянном анализе состояния проблемной области – сферы обеспечения ядерной и радиационной безопасности, прогнозах возникновения проблемных ситуаций в ней, а также с учетом рекомендаций МАГАТЭ и группы по мониторингу окружающей среды Европейской экономической комиссии Организации Объединенных Наций (ЕЭК ООН).

Для понимания важности научного обоснования методов эффективного функционирования и управления системой радиационного мониторинга в целях минимизации ущербов от радиационных аварий в пословице приведены данные о финансовых рисках и ущербах на примере Чернобыльской катастрофы.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- АПИ – автоматический пункт измерения
АСКРО – автоматизированная система контроля радиационной обстановки
АСРК – автоматизированная система радиационного контроля
АЭС – атомная электрическая станция
БД – база данных
Белгидромет – ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь
ВАБ (*PSA*) – вероятностный анализ безопасности (*probabilistic safety assessment*)
ВДУ – временно допустимые уровни
ВМО ООН – Всемирная метеорологическая организация ООН
ВОЗ – Всемирная организация здравоохранения ООН
ГИАЦ – главный информационно-аналитический центр НСМОС
ГИС – геоинформационная (-ые) система (-ы)
Госатомнадзор – Департамент по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь
ДАБ – детерминистический анализ безопасности
ДУВ (*OIL*) – действующий уровень вмешательства (*operational intervention level*)
ЕЭК ООН – Европейская экономическая комиссия ООН
ЗН АЭС – зона наблюдения АЭС
ИАЭС – Игналинская атомная электростанция
ИБГ – инертные благородные газы
ИИИ – источники ионизирующего излучения
ИРГ – инертные радиоактивные газы
КБП – комплексный биосферный подход
ЛГХП – ландшафтно-геохимический полигон
ЛПЭ – линейная передача энергии
МАГАТЭ (*IAEA*) – Международное агентство по атомной энергии (*International Atomic Energy Agency*)
МД – мощность дозы гамма-излучения
МКРЗ (*ICRP*) – Международная комиссия по радиационной защите (*International Commission on Radiological Protection*)
МЧС – Министерство по чрезвычайным ситуациями Республики Беларусь
МЭК (*IEC*) – Международная электротехническая комиссия (*International Electrotechnical Commission*)
НКДАР ООН (*UNSCEAR*) – Научный комитет по действию атомной радиации ООН (*United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*)
НКРЗ – Национальная комиссия по радиационной защите Республики Беларусь

НПА – нормативные правовые акты
НПО «Тайфун» – научно-производственное объединение «Тайфун»
(Российская Федерация)
НРБ – нормы радиационной безопасности
НСМОС – Национальная система мониторинга окружающей среды
Республики Беларусь
НТЦ ЯРБ – Научный технический центр ядерной и радиационной безопасности
Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь
ОВОС – оценка воздействия на окружающую среду
ОИАЭ – объект использования атомной энергии
ООН – Организация Объединенных Наций
ОРБ – обеспечение радиационной безопасности
ОТС – общая теория систем
ПГРЭЗ – Полесский государственный радиационно-экологический заповедник (Республика Беларусь)
ПЗРО – пункт захоронения радиоактивных отходов
ПРК – пункт радиационного контроля
ПРФ (*NBR*) – природный (естественный) радиационный фон (*natural background radiation*)
РАО – радиоактивные отходы
РБГ – радиоактивные благородные газы
РДУ – республиканские допустимые уровни
РКУ – республиканские контрольные уровни
РП – реперная площадка
СЗЗ АЭС – санитарно-защитная зона АЭС
СИЧ – счетчик импульса человека
СМИ – средства массовой информации
СССР – Союз Советских Социалистических Республик
ТВС – тепловыделяющая сборка
ТНПА – технические нормативные правовые акты
УДАС – управление действиями в аварийной ситуации
ФВУ – фильтровентиляционные установки
ЧС – чрезвычайная ситуация
ЯиРМ – ядерный (-е) и радиоактивный (-е) материал (-ы)
ЯУ – ядерная установка
ALARA – as low as reasonably achievable
BR – background radiation (фоновое состояние)
DAC – derived air concentration
EAEC – European Atomic Energy Community
EP – event probability
HE – health effects
INES – International Nuclear Event Scale
LoR – level of risk
SI – Международная система физических единиц

Глава 1

ПРЕДМЕТ И ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

1.1. Определения радиационной безопасности и ядерной безопасности

Для достижения основных целей и задач радиационного мониторинга в целом следует изучить и принять определение такой важнейшей социальной категории как «безопасность» в области использования атомной энергии, а также определения ядерной и радиационной безопасности. Необходимо понять их связь с системой радиационного мониторинга окружающей среды.

На первый взгляд ответ на вопрос что такое безопасность, лежит в практике повседневного опыта: защищенность, отсутствие угроз, возможность осуществлять повседневную деятельность без ограничений, социальная безопасность, информационная безопасность и т.д. Однако для осуществления государственного управления и регулирования в области радиационной безопасности необходима четкая идентификация вопросов, связанных с обеспечением радиационной безопасности населения окружающей среды, в том числе адекватная идентификация и оценка источников угроз и рисков. Другими словами, должно быть понимание следующего: защищенность кого, чего, от каких угроз и рисков, и каким образом.

Концепция национальной безопасности Республики Беларусь выделяет несколько видов безопасности и соответственно угроз, важных для радиационной безопасности, которые имеют прямое отношение к радиационному мониторингу, в том числе экологическая безопасность. Она определяется как «состояние защищенности окружающей среды, жизни и здоровья граждан от угроз, возникающих в результате антропогенных воздействий, а также факторов, процессов и явлений природного и техногенного характера» [1].

Следует обратить внимание, что можно выделить «целевые» виды безопасности, например социальную, экологическую, радиационную. При этом очевидно, что именно «защищенность жизни, здоровья и благосостояния граждан» в условиях ионизирующего облучения является одной из основных целей радиационной безопасности. Такой подход соответствует принципам ст. 4 Закона Республики Беларусь от 17 июля 2017 г. № 51-З «Об охране окружающей среды», которая требует [10]:

- соблюдения права граждан на благоприятную окружающую среду и возмещение вреда, причиненного нарушением этого права;
- обеспечения благоприятных условий для жизни и здоровья граждан.

Также существуют «функциональные» виды безопасности, например научно-технологическая и информационная безопасность, без которых невозможно обеспечение «целевых» видов безопасности и эффективное функционирование самой системы радиационного мониторинга.

Очевидно, что для корректного определения термина «безопасность» в целом, а также терминов «экологическая», «радиационная», «ядерная безопасность» и иных видов безопасности требуется анализ действующей национальной практики, международного опыта и рекомендаций МАГАТЭ.

В практике, связанной с деятельностью по использованию источников ионизирующего излучения (ИИИ) и ядерных радиоактивных материалов (ЯиРМ), часто встречается понятие «безопасность», что создает определенные трудности с пониманием и применением этого термина при решении общих задач обеспечения радиационной безопасности.

С точки зрения иерархии понятий понятие «безопасность» относится к более высокой категории (надкатегории) по сравнению с понятиями (категориями) радиационной и ядерной безопасности.

Следует обратить внимание, что для документа «Основы безопасности» МАГАТЭ предлагает использовать следующее определение безопасности: «для целей настоящей публикации «безопасность» означает защиту людей и охрану окружающей среды от радиационных рисков и обеспечение безопасности установок и деятельности, связанных с радиационными рисками» [2, 11].

При таком подходе термин «безопасность» включает в себя безопасность ядерных установок, радиационную безопасность, безопасность обращения с радиоактивными отходами и безопасность перевозок ЯиРМ [11].

Таким образом, объекты «защиты и безопасности» — это «люди и окружающая среда», а механизмами обеспечения безопасности («защиты и безопасности») этих объектов выступают оценка и минимизация «радиационных рисков», а также обеспечение «безопасности установок и деятельности», которые являются действующими и (или) потенциальными источниками радиационных рисков.

На практике часто используется важный для безопасности термин «критическая инфраструктура», в том числе для ядерной и радиационной безопасности.

Для дальнейшего рассмотрения примем, что в общем случае под понятием «инфраструктура» (*infrastructure*) понимается «совокупность отраслей, предприятий и организаций, входящих в эти отрасли, направленной деятельности, призванных создавать условия для нормального функционирования производства и обращения товаров, а также жизнедеятельности людей» [12]. Различают производственную, социальную, а также военную, пограничную и иные инфраструктуры [1].

В общей инфраструктуре выделяется необходимая для безопасности критическая инфраструктура (*critical infrastructure*) как «часть гражданской

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	7
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	12
Глава 1. ПРЕДМЕТ И ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	14
1.1. Определения радиационной безопасности и ядерной безопасности	14
1.2. Определения радиационного мониторинга и радиационного контроля . . .	19
1.3. Основные цели и задачи радиационного мониторинга, предмет радиаци- онного мониторинга	22
1.4. Место радиационного мониторинга в национальной системе экологиче- ского мониторинга	23
1.5. Понятийный аппарат системы радиационного мониторинга, связь радиационного мониторинга с другими науками, терминология	25
1.6. Терминология в радиационном мониторинге	29
<i>Заключение к главе 1.</i>	30
Глава 2. РАДИАЦИОННОЕ СОСТОЯНИЕ И РАДИОАКТИВНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, СИТУАЦИИ ОБЛУЧЕНИЯ . . .	32
2.1. Природный (естественный) радиационный фон, радиационное состояние и радиоактивное загрязнение	32
2.2. Радиационное состояние и радиоактивное загрязнение	34
2.3. Радиационная обстановка и ситуации облучения	37
<i>Заключение к главе 2.</i>	38
Глава 3. ОСНОВЫ НАЦИОНАЛЬНОЙ И МЕЖДУНАРОДНОЙ НОРМАТИВНОЙ ПРАВОВОЙ БАЗЫ В ОБЛАСТИ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА	40
3.1. Государственное управление в сфере радиационной безопасности и радиационного мониторинга	40
3.2. Основные элементы и структура нормативной правовой и технической базы Национальной системы мониторинга окружающей среды	44
3.3. Методологические подходы МАГАТЭ и группы по мониторингу Европейской экономической комиссии ООН в области организации и проведения радиационного мониторинга окружающей среды	46
<i>Заключение к главе 3.</i>	51
Глава 4. ИСТОЧНИКИ РАДИАЦИОННОЙ ОПАСНОСТИ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ, АВАРИЙНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ	53
4.1. Риски и радиационная безопасность, субъективная и объективная концепции риска	53

4.2. Природные, антропогенные, социальные, организационные и другие риски, радиационная безопасность	57
4.3. Внутренние и внешние угрозы радиационной безопасности	60
4.4. Пути поступления радиоактивного загрязнения в окружающую среду . .	67
<i>Заключение к главе 4.</i>	68

Глава 5. КАТЕГОРИИ УГРОЗ, АНАЛИЗ СТЕПЕНИ РИСКА, ОСНОВЫ БЕЗОПАСНОСТИ И УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ 70

5.1. Категории угроз в сфере радиационной безопасности	70
5.2. Анализ степени риска действующих угроз радиационной безопасности и схема управления рисками	73
5.3. Основы анализа безопасности, детерминистический и вероятностный подходы	77
5.4. Управление системой рисков радиационной безопасности населения и окружающей среды в Республике Беларусь	78
<i>Заключение к главе 5.</i>	80

Глава 6. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, ТЕРМИНЫ И ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ 81

6.1. Основные параметры и термины	81
6.2. Единицы измерения радиоактивного загрязнения окружающей среды . .	88
<i>Заключение к главе 6.</i>	90

Глава 7. КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ 91

7.1. Общие подходы к формированию критериев оценки радиационной обстановки	91
7.2. Рекомендации МАГАТЭ по формированию критериев оценки радиационной обстановки	92
7.3. Основы формирования национальных критериев	97
7.4. Основные критерии оценки радиационной обстановки	99
<i>Заключение к главе 7.</i>	103

Глава 8. СТРАТЕГИИ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ 104

8.1. Современная парадигма радиоэкологии	104
8.2. Концепция Национальной безопасности Республики Беларусь, радиационная безопасность и радиационный мониторинг	106
8.3. Стратегии мониторинга и оценки, <i>SWOT</i> -анализ	109
<i>Заключение к главе 8.</i>	124

Глава 9. РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ: ФИНАНСОВЫЕ РИСКИ И УЩЕРБЫ 126

9.1. Оценка финансовых рисков и ущербов на примере катастрофы на Чернобыльской АЭС	126
--	-----

9.2. Научное обоснование и практика оптимизации финансовых рисков и ущербов	130
<i>Заключение к главе 9.</i>	133

Глава 10. ПРОГРАММЫ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

10.1. Общие требования к программам	134
10.2. Действующая система радиационного мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь	135
10.3. Радиационный мониторинг атмосферного воздуха	138
10.4. Радиационный мониторинг поверхностных и подземных вод.	140
10.5. Радиационный мониторинг почв	143
10.6. Организация аварийного радиационного мониторинга окружающей среды в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения Белорусской АЭС. . .	145
<i>Заключение к главе 10.</i>	149

Глава 11. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.

11.1. Изучение поведения радионуклидов в окружающей среде до 1986 г. . .	151
11.2. Чернобыль: изучение поведения радионуклидов в окружающей среде в 1986 г. и позднее	159
11.3. Прогноз радиационной обстановки, обусловленной катастрофой на Чернобыльской АЭС	175
11.4. Рекомендации по дальнейшему развитию системы радиационного мониторинга в условиях чернобыльского загрязнения.	183
<i>Заключение к главе 11.</i>	185

Глава 12. НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА.

12.1. Радиационный мониторинг как система. Системные (генеральные) цели	187
12.2. Базовые принципы формирования системы радиационного мониторинга и ее управления	192
12.3. Проблемосодержащая область и проблемная ситуация, модель «черного ящика» и граф модели	194
12.4. Циклы проводимой экологической политики	198
12.5. Ретроспективный анализ обеспечения радиационной безопасности населения и окружающей среды в Республике Беларусь. . . .	200
<i>Заключение к главе 12.</i>	205

Глава 13. РАДИАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ВОКРУГ АЭС И ПРАКТИКА ЕГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

13.1. Практика совершенствования систем радиационного мониторинга окружающей среды в зонах влияния АЭС.	207
--	-----

13.2. Изучение состояния окружающей среды и поведения радионуклидов вокруг Белорусской АЭС в рамках НСМОС	210
13.3. Результаты радиационного мониторинга окружающей среды в зоне наблюдения Белорусской АЭС	215
<i>Заключение к главе 13.</i>	218

**Глава 14. СИСТЕМНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ И БАЗОВЫЕ ПРИНЦИПЫ
ФОРМИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТРЕБНОСТЕЙ В СФЕРЕ
РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ.** 220

14.1. Системные требования к осуществлению экологической политики.	220
14.2. Системные требования к формированию информационных потребностей в области радиационной безопасности	222
14.3. Требования к качеству информации о радиационной обстановке в окружающей среде	229
14.4. Идентификационные атрибуты для включения результатов наблюдений в базы данных	230
14.5. Перечень основных информационных баз данных и их краткое описание	232
<i>Заключение к главе 14.</i>	234

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. 235

ПРИЛОЖЕНИЯ 237

<i>Приложение 1.</i> Логическая структура модели рисков радиационной безопасности	237
<i>Приложение 2.</i> Схема определения степени риска (<i>LoR</i>)	239
<i>Приложение 3.</i> Основные радиометрические величины	240
<i>Приложение 4.</i> Граф модели структурной схемы радиационного мониторинга	242
<i>Приложение 5.</i> Схема поступления и автоматизированной обработки данных радиоактивного загрязнения атмосферного воздуха, почвы и поверхностных вод в Белгидромете.	243
<i>Приложение 6.</i> Единая система радиационного мониторинга и контроля окружающей среды	244
<i>Приложение 7.</i> Основные требования к проведению радиационного мониторинга окружающей среды	245
<i>Приложение 8.</i> Контрольные вопросы	252

ЛИТЕРАТУРА 262

Г38 **Герменчук, М. Г.**
Радиационный мониторинг окружающей среды : учебное пособие / М.Г. Герменчук. – Минск: Вышэйшая школа, 2021. – 278 с., [4] л. цв. вкл. : ил.
ISBN 978-985-06-3324-8.

Изложены предмет, основные задачи системы радиационного мониторинга, понятия радиационного состояния и радиоактивного загрязнения окружающей среды, ситуаций облучения, основы национальной и международной нормативной и правовой базы в области радиационного контроля и мониторинга, описаны финансовые риски и ущербы окружающей среде от радиоактивного загрязнения, основы аварийного планирования, основные параметры, стратегии, результаты, научно-методические основы функционирования и совершенствования системы, термины и единицы измерений, критерии оценки радиационной обстановки в окружающей среде. Представлены программы радиационного мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь на территориях, пострадавших в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС, а также вокруг Белорусской АЭС.

Для студентов учреждений высшего образования по специальностям «Природоохранная деятельность (по направлениям)», «Ядерная и радиационная безопасность», будет полезно специалистам данной сферы деятельности.

УДК 502.175:614.876.084(075.8)
ББК 20.18я73

Учебное издание

Герменчук Мария Григорьевна

РАДИАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Учебное пособие

Редактор *И.В. Тургель*

Художественный редактор *В.А. Ярошевич*

Компьютерная верстка *Н.В. Шабуня*

Корректор *О.И. Голденкова*

Подписано в печать 14.10.2021. Формат 60×90/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Newton».
Печать офсетная. Усл. печ. л. 17,5 + 0,5 цв. вкл. Уч.-изд. л. 19,9. Тираж 200 экз.
Заказ 4536.

Республиканское унитарное предприятие «Издательство “Вышэйшая школа”».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/3 от 08.07.2013.

Пр. Победителей, 11, 220004, Минск.

e-mail: market@vshph.com <http://vshph.com>

Открытое акционерное общество «Типография “Победа”».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 2/38 от 29.01.2014.

Ул. Тавлая, 11, 222310, Молодечно.