

**Практические рекомендации  
по вопросам оценки радиационного воздействия  
на человека и биоту**

Москва  
2015

УДК

621.039:502.1

ББК 20.1:28.080.1

П69

Авторы:

Панченко С.В. (разд. 1.3, 5.2, 5.3, 5.4, гл. 2 и 6), д.т.н., член РНКРЗ Линге И.И. (введение, разд. 1.2, 2.2, 3.3), Воробьева Л.М. (раздел 4.3.2), к.ф.-м.н. Капырин И.В. (разд. 4.1.2), к.т.н., член РНКРЗ Савкин М.Н. (разд. 1.1), к.т.н., член РНКРЗ Уткин С.С. (разд. 3.3, 4.1) Аракелян А.А. (разд. 4.2.2), – ИБРАЭ РАН.

Д. ф.-м.н., профессор, член РНКРЗ Крышев И.И. (гл. 2; раздел 5.3.3), д.ф.-м.н. Сазыкина Т.Г. (разд. 2.3, 2.4, 5.3) — НПО «Тайфун».

Чл.-корр. РАН, профессор, председатель РНКРЗ Иванов В.К. (разд. 2.1; 4.2), к.т.н. Горский А.И. (разд. 2.1) — МРНЦ им. А.Ф. Цыба.

Д.б.н., профессор Гераськин С.А. (разд. 4.1.3, 4.2, 5.3), д.б.н., профессор Удалова А.А. — ВНИИРАЭ.

Д.м.н., профессор Новиков С.М. (разд. 4.2), д.м.н. Унгаряну Т.Н. (раздел 4.3.1) — НИИ ЭЧ и ГОС им. А.Н.Сысина

К.т.н. Курындин А.В. (разд.3.1 и 3.2), к.т.н. Строганов А.А. (разд.3.1 и 3.2) — НТЦ ЯРБ Ростехнадзора.

Практические рекомендации по вопросам оценки радиационного воздействия на человека и биоту. — Под общей редакцией И.И. Линге и И.И. Крышева. — 2015 г. — 265 с.

Внимание читателей предлагается книга, в которой рассматриваются практические вопросы оценки текущего состояния и долгосрочного прогнозирования уровней радиационного воздействия предприятий атомной отрасли, включая и объекты ядерного наследия, на человека и окружающую среду. Значительное место в книге уделено формированию суждений о том, допустимо ли такое воздействие и в какой степени необходимы меры защиты.

Книга ориентирована на работников промышленных организаций, осуществляющих деятельность в области использования атомной энергии и специализирующихся на вопросах радиационной безопасности и охраны окружающей среды, а также на специалистов органов управления использованием атомной энергии и органов государственного регулирования безопасности.

Практические рекомендации подготовлены некоммерческой организацией Фонд экологической безопасности энергетики в рамках более общей работы, предусмотренной Федеральной целевой программой «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года».

ISBN 978-5-00077-353-6



# Содержание

Введение .....	5
Список использованных источников .....	13
Глава 1 Регулирование радиационного воздействия на человека и биоту в Российской Федерации	14
1.1 Современные системы радиологической защиты человека и объектов живой природы ...	15
1.2 Российское законодательство в области обеспечения радиационной безопасности человека и объектов живой природы .....	21
1.2.1 Федеральный закон от 21.11.1995 № 170-ФЗ "Об использовании атомной энергии"	22
1.2.2 Федеральный закон от 09.01.1996 № 3-ФЗ "О радиационной безопасности населения" .....	23
1.2.3 Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ "Об охране окружающей среды" .....	24
1.3 Радиационно-гигиеническое и экологическое нормирование .....	29
1.3.1 Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009) .....	30
1.3.2 Регламенты в области охраны окружающей среды .....	34
Выводы и практические рекомендации .....	37
Список использованных источников .....	40
Глава 2 Системы оценки доз облучения человека и биоты .....	42
2.1 Системы учета доз облучения населения в России .....	42
2.2 Радиационно-гигиенические паспорта территорий и организаций .....	51
2.3 Системы радиоэкологического мониторинга в Российской Федерации .....	60
2.3.1 Эволюция задач радиоэкологического мониторинга .....	62
2.3.2 Единая государственная система автоматизированного мониторинга радиационной обстановки (ЕГАСМРО) .....	64
2.3.3 Регламент радиоэкологического мониторинга .....	68
2.4 Оценка доз облучения референтных объектов биоты .....	69
2.4.1 Выбор референтных видов биоты для оценки радиационного воздействия .....	70
2.4.2 Оценка мощности дозы .....	71
Выводы и практические рекомендации .....	72
Список использованных источников .....	72
Глава 3 Современная система ограничений воздействия объектов использования атомной энергии на население и окружающую среду: выбросы и сбросы радиоактивных веществ, образование РАО .....	76
3.1 Нормирование радиоактивных выбросов .....	77
3.2 Нормирование радиоактивных сбросов .....	81
3.3 Нормирование в сфере обращения с РАО .....	84
Выводы и практические рекомендации .....	86
Список использованных источников .....	87
Глава 4 Экологическая безопасность и вопросы её практической оценки .....	89
4.1 Модели для оценок радиационного воздействия на биоту .....	90
4.1.1 Модуль оценки дозовых нагрузок на референтные виды биоты и оценки экологического риска .....	93

4.1.2 Развитие методов оценки гидрогеологического моделирования.....	96
4.1.3 Развитие методов оценки экологического моделирования .....	98
4.2 Оценка риска — современный инструмент оценки воздействия.....	99
4.2.1 Риски для здоровья человека.....	100
4.2.2 Риски для биоты.....	115
4.3 Результаты оценки рисков для населения отдельных территорий .....	122
4.3.1 Пример практического исследования по многосредовой оценке риска при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду в городе Новодвинске .....	122
4.3.2 Сопоставительный анализ радиационных и химических рисков для здоровья населения Красноярского края .....	128
Выводы и практические рекомендации .....	133
Список использованных источников .....	133
Глава 5 Практические рекомендации по экологическому менеджменту в организации .....	138
5.1 Управление охраной окружающей среды.....	138
5.1.1 Руководство по оценке риска в области экологического менеджмента.....	139
5.2 Материалы обоснований по экологической безопасности (от первых исследовательских работ до ОВОС).....	146
5.2.1 Исторические аспекты развития методологии экологического менеджмента .....	146
5.3 Оценка вреда от радиационного воздействия на окружающую среду .....	156
5.3.1 Анализ радиационной безопасности окружающей среды.....	156
5.3.2 Методология оценки экологического ущерба .....	158
5.3.3 Оценка ущерба от вреда, обусловленного радиационным воздействием на окружающую среду.....	159
5.4 Основные международные, отраслевые и национальные отчетные документы по состоянию радиационного воздействия на человека и окружающую среду вреда от радиационного воздействия на окружающую среду .....	166
Выводы и практические рекомендации .....	169
Список использованных источников .....	170
Глава 6 Некоторые проблемные вопросы отечественного нормирования .....	174
Список использованных источников .....	179
Приложение 1.....	181
Приложение 2.....	204
Приложение 3.....	216
Приложение 4.....	217
Приложение 5.....	238
Приложение 6.....	240
Список использованных в приложениях источников .....	263

## Введение

Настоящие практические рекомендации подготовлены в рамках более общей работы, предусмотренной Федеральной целевой программой «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года». Представляется примечательным и ценным, что в этой программе, помимо большого объема практических и важных работ по повышению уровня ядерной и радиационной безопасности и решению проблем ядерного наследия, были предусмотрены и отдельные работы, связанные с существенными – постановочными проблемами. К числу таких ключевых проблем, безусловно, следует отнести оценку текущего состояния и долгосрочное прогнозирование уровней радиационного воздействия объектов ядерного наследия на человека и объекты живой природы и, что еще более важно, вынесение суждений о том, допустимо ли такое воздействие или необходимы меры защиты.

В реализации мероприятия «Разработка критериев, методов и программно-технических средств оценки текущих и прогнозируемых уровней экологического влияния ядерно и радиационно опасных объектов на население и окружающую среду» приняли участие ведущие специалисты ИБРАЭ РАН, НПО «Гайфун», МРНЦ РАМН, ВНИИСХРАЭ, НТЦ ЯРБ и ряда других научных центров. Программой НИР предусматривались сбор и систематизация радиоэкологических данных, разработка моделей и программных модулей, а также проведение работ по мониторингу развития нормативно-правовой базы в сфере исследований и выработке соответствующих рекомендаций по оптимизации их содержания. В завершении работы подготовлены два издания – настоящие практические рекомендации и книга «Радиоэкологическая обстановка в регионах расположения предприятий Росатома». Оба издания ориентированы на работников промышленных организаций, осуществляющих деятельность в области использования атомной энергии и специализирующихся на вопросах радиационной безопасности и охраны окружающей среды, а также на специалистов органов управления использованием атомной энергии и органов государственного регулирования безопасности.

На содержание практических рекомендаций значимое влияние оказали как минимум три фактора:

- существенное развитие современных систем управления, включая системы экологического менеджмента в организациях атомной отрасли за прошедшие 10 лет;
- практическое начало масштабных работ по решению накопленных проблем ядерного наследия и развитию современных систем обращения с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами, выводу из эксплуатации объектов использования атомной энергии;
- наличие проблемных зон в рассматриваемой области, связанных с несколькими группами факторов различной природы и характера, среди которых и развитие международно признанных систем радиационной защиты человека и объектов живой природы, и определенные диспропорции в части защиты от радиационного и иных видов вредных воздействий.

О прогрессе в развитии систем управления в организациях Госкорпорации «Росатом». Чуть более 10 лет прошло с разработки и принятия в 2003 году первого отраслевого документа [Приказ, 2003] в этой области – «Основы экологической политики Минатома России». В 2005 году вышла его новая редакция [Приказ, 2005] – «Основы экологической политики Росатома» [Основы, 2005]. Принятие такого документа стало важным шагом в обеспечении развития отрасли, определив «цель, основные принципы и направления деятельности отрасли в обеспечении экологической безопасности, охраны окружающей среды и устойчивого развития» (далее – Основы).

Цель его разработки и утверждения – определение краткосрочной и долгосрочной стратегий природоохранной деятельности Росатома, разработка и реализация мероприятий, которые реально необходимы для решения накопленных экологических проблем, решения задач сегодняшнего дня,

планомерного, поступательного и гармоничного развития отрасли в рамках стратегии устойчивого экономического и общественного развития России.

Принципы, изложенные в Основах, позволили поэтапно решать накопленные и текущие проблемы в области охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности для достижения признанного в международной практике уровня ядерной, радиационной и всех других компонентов экологической безопасности.

В Основах были определены конкретные приоритетные и первоочередные задачи отрасли в области экологической безопасности, охраны окружающей среды и рационального природопользования. В том числе одним из приоритетных направлений является совершенствование управления экологической безопасностью и природоохранной деятельностью, для чего предусматривается внедрение на предприятиях отрасли международных стандартов в области охраны окружающей среды и экологической безопасности.

Многие, если не большинство, из ставившихся 10 лет назад задач в области развития систем управления успешно решены. Например, важным аспектом деятельности должна была стать работа по внедрению на предприятиях Росатома национальных и международных стандартов в области охраны окружающей среды, рационального природопользования, экологической безопасности и экологического менеджмента, в первую очередь – стандартов серии ISO 14000. В настоящее время практически все организации сертифицированы в рамках этого стандарта и регулярно публикуют ежегодные отчеты по экологической безопасности. Не меньшие успехи достигнуты и по другим направлениям развития системы управления. В Росатоме успешно внедряется современная производственная система. Наиболее емко все аспекты развития систем управления отражаются в ежегодном публичном отчете Госкорпорации.

Оценка экологического воздействия – это центральная тема настоящих рекомендаций. Отметим, что она принципиальна для всех элементов модели управления, поскольку система экологического менеджмента представляет собой совокупность взаимосвязанных элементов, предназначенных для разработки и реализации экологической политики организации и управления ее экологическими аспектами<sup>1</sup>.

На рисунке представлена модель функционирования системы экологического менеджмента. Система строится на основе цикла управления или цикла Деминга, представляющего постоянно действующий, повторяющийся процесс, состоящий из следующих этапов: планирование – выполнение – проверка – действие (цикл «PDCA»: P – plan, D – do, C – check, A – act). Целью такой системы является управление воздействием организации на окружающую среду и достижение постоянного улучшения, которое выражается в совершенствовании системы экологического менеджмента и улучшении экологических показателей деятельности организации.

Напомним основные положения стандарта ISO 14001. С учетом результатов предварительной оценки руководство организации должно сформулировать и утвердить экологическую политику, которая определит общие направления и принципы деятельности организации. Определив экологическую политику, организация обеспечивает функционирование системы, начиная с этапа планирования.

---

<sup>1</sup> Экологический аспект – элемент деятельности организации или ее продукции или услуг, который может взаимодействовать с окружающей средой (п.3.6 ISO 14001:2004)



Рисунок - Модель системы экологического менеджмента в соответствии со стандартом ISO 14001:2004

В рамках процесса планирования организация:

- идентифицирует экологические аспекты и связанные с ними воздействия на окружающую среду, а также выявляет значимые экологические аспекты;
- идентифицирует и отслеживает применимые нормативно-правовые требования и другие требования, которые организация обязалась выполнять;
- устанавливает целевые и плановые экологические показатели;
- формулирует программу(ы) для их достижения.

Ключевым элементом планирования является идентификация основных воздействий. Понятно, что правильное, то есть научно-обоснованное, экономически и политически выверенное определение основных аспектов воздействия задает основу всей деятельности и практически предопределяет её успешность.

Практическая деятельность по оценке радиационного воздействия на человека и объекты живой природы (биоту), как и все другие виды деятельности, должна опираться на накопленный опыт в данной области, в том числе и нормативно закреплённые требования с общей ориентацией не только на действующие нормы, но и с полноценной ориентацией на их развитие. В этом смысле созданные и функционирующие с разной степенью полноценности системы оценки радиационного воздействия атомных производств на человека и объекты окружающей среды дают значимое и предметное преимущество для организации. Важно только вовремя его активизировать и умело распорядиться.

О резком ускорении работ по решению накопленных проблем и исключению условий для их воспроизводства. Первые работы по решению накопленных проблем в области ядерной и радиационной безопасности в Российской Федерации были развернуты в конце прошлого века в отношении утилизации атомных подводных лодок. В настоящее время проблемы утилизации решаются программным методом в рамках федеральной целевой программы «Промышленная

утилизация вооружения и военной техники ядерного комплекса на 2011–2015 годы и на период до 2020 года».

В 2006 году Президентом Российской Федерации были даны поручения по разработке комплекса мер в сфере обеспечения ядерной и радиационной безопасности. Во исполнение этого поручения была разработана и начата реализация федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года», неотложные мероприятия в рамках которой позволили существенно изменить ситуацию [Проблемы, 2012; Проблемы, 2013].

Практически одновременно с реализацией мероприятий программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» формировалась новая нормативно-правовая база. Принципиально изменились условия ведения деятельности в области использования атомной энергии, главным образом, по параметрам хозяйственной самостоятельности и ответственности юридических лиц за завершающие стадии жизненного цикла и юридического закрепления объема ядерного наследия. Это произошло благодаря вступлению в силу Федерального закона от 5 февраля 2007 г. № 13-ФЗ «Об особенностях управления и распоряжения имуществом и акциями организаций, осуществляющих деятельность в области использования атомной энергии, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», Федерального закона от 1 декабря 2007 г. № 317-ФЗ «О Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом», Федерального закона от 30 ноября 2011 г. № 347-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в целях регулирования безопасности в области использования атомной энергии», Федерального закона от 11 июля 2011 г. № 190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» и Федерального закона от 2 июля 2013 г. № 188-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» и предусмотренных ими подзаконных актов.

Новые обязательства организаций по переработке вновь образующихся радиоактивных отходов, их передаче на захоронение и оплате этого захоронения в совокупности с обязательствами по безопасности находящегося в их собственности отработавшего ядерного топлива и уже имеющиеся правовые требования в части вывода из эксплуатации создали правовые предпосылки для полного разграничения ядерного наследия и текущей деятельности и исключения условий для формирования новых проблем в рассматриваемой области, ответственность за решение которых возлагается на государство.

Таким образом, в настоящее время в Российской Федерации созданы все условия для поэтапного сокращения объемов ядерного наследия при соблюдении базовых условий обеспечения ядерной и радиационной безопасности – безопасного использования атомной энергии с практической реализацией завершающих стадий жизненного цикла, исключая негативное воздействие на население и окружающую среду, и гарантировано высокой защищенностью населения в случае чрезвычайных ситуаций. Окончательное решение накопленных проблем включает в себя вывод из эксплуатации всех ядерно и радиационно опасных объектов наследия, переработку всего находящегося в федеральной собственности отработавшего ядерного топлива с захоронением образующихся радиоактивных отходов, переработку и захоронение накопленных удаляемых радиоактивных отходов или консервацию пунктов размещения накопленных особых радиоактивных отходов и реабилитацию радиационно загрязненных территорий.

Более того, необходимость и этапность решения накопленных проблем и развития инфраструктуры обеспечения ядерной и радиационной безопасности закреплены в следующих действующих документах:

- утвержденных Президентом Российской Федерации 1 марта 2012 г. «Основах государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года», где определено, что обеспечение ядерной и



радиационной безопасности соответствует приоритетным задачам социально-экономического развития и является одной из важнейших составляющих национальной безопасности Российской Федерации;

- утвержденной Правительством Российской Федерации концепции федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года», где указывается, что её реализация предотвратит необходимость выделения на эти цели в 2016–2025 годах дополнительно 1000 млрд рублей в случае нереализации программы в 2008–2015 годах;
- утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации от 2 июня 2014 г. № 506-12 государственной программе Российской Федерации «Развитие атомного энергопромышленного комплекса», где определено, что при развитии атомного энергопромышленного комплекса неизменной является задача обеспечения ядерной и радиационной безопасности объектов использования атомной энергии, персонала, населения и окружающей среды.
- решением по новой федеральной целевой программе «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на период 2016–2030 годов».

Для рассматриваемой проблемы оценки радиационного воздействия на человека и биоту проводимые масштабные работы принципиально важны, поскольку они существенно сокращают диапазон возможных ситуаций и интенсивности радиационного воздействия на человека и объекты живой природы.

Следует отметить наличие проблемных зон в оценке радиационного воздействия на человека и окружающую среду. В качестве первой проблемной зоны можно назвать, прежде всего, наличие объемного массива публикаций, в том числе фундаментальных зарубежных и российских изданий, дающих достаточно четкие представления о способах оценки радиационного воздействия на человека и биоту. К сожалению, этот ценный массив информации не может являться практическим руководством, в том числе по причине широкого временного спектра выхода этих изданий, их определенной перегруженности информацией и, что особенно важно, слабой нормативной закреплённостью. К еще большему сожалению, в литературе, в том числе в реферируемых журналах, зачастую можно встретить публикации, которые коренным образом отличаются от достоверно выявленных эффектов действия радиации. Принятые в мировой научной среде в рассматриваемой области знаний оценки и подходы имеют вполне определенный адрес – это регулярные доклады такой авторитетной организации, как Научный комитет по действию атомной радиации Организации Объединенных Наций. В итоге на фоне значимого информационного шума, эти доклады оказываются практически незаметными для специалистов.

В качестве позитивных факторов, связанных с задачами устойчивого развития, следует отметить динамичное изменение нормативно-правовых условий функционирования предприятий атомной энергетики и промышленности, в том числе по параметрам радиационной и экологической безопасности. В этой же группе должны быть отмечены и процессы развития системы международно признанных документов в области радиационной защиты человека, объектов биоты и окружающей среды в целом. Как и любые иные изменения, они создают определенные трудности для эксплуатирующих организаций, связанные с расширением показателей и параметров отчетности и расширением требований к отдельным технологическим процессам и производствам. В области использования атомной энергии в последние годы эти изменения наиболее заметны на так называемых завершающих стадиях жизненного цикла объектов использования атомной энергии (ОИАЭ), хотя стратегическая ориентированность отрасли на замыкание ядерного топливного цикла была заявлена более 50-ти лет назад. Начиная с 2008 года, в разы увеличились объемы финансирования работ по решению проблем ядерного наследия и созданию объектов инфраструктуры обращения с ОЯТ и РАО. Также прогнозируется дальнейшее увеличение расходов эксплуатирующих организаций на обращение с вновь образующимися РАО и ОЯТ. Оценка обязательств по выводу из эксплуатации объектов

использования атомной энергии стала предметом консолидированной отчетности Госкорпорации «Росатом». Ориентация на полную реализацию завершающих стадий жизненного цикла ОИАЭ обусловлена глубокой трансформацией нормативно-правовых условий функционирования отрасли. Ратификация в 2005 году Российской Федерацией Объединенной конвенции о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами сделала неизбежными дальнейшие шаги. Среди них разработка и принятие Федерального закона «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» в 2011 году, проектируемые изменения в Федеральный закон «Об использовании атомной энергии» для этапного завершения формирования законодательных основ в части обращения с ОЯТ и вывода из эксплуатации.

Негативным фактором, обусловленным историческими причинами, является то обстоятельство, что российские регулирующие документы могут быть охарактеризованы как противоречивые в отдельных аспектах (радиационная защита человека) и далеко не полные (радиационная защита окружающей среды). Поручение о гармонизации с современными международными документами и о внесении изменений в Федеральный закон «О радиационной безопасности населения» дано Советом Безопасности Российской Федерации еще в 2011 году. Предусмотренные Федеральным законом «Об охране окружающей среды» требования по радиационной защите объектов живой природы до настоящего времени не установлены.

В качестве негативного фактора сложной социальной природы следует отметить наличие устойчивого обостренного восприятия радиационных рисков техногенного происхождения, во многом поддерживаемого и подстегиваемого мощным информационным фоном, в том числе и большим количеством околонучных публикаций по вопросам радиационного воздействия на человека и объекты живой природы.

Указанные причины обусловили состав практических рекомендаций, которые не ограничиваются описанием детальных технологий исполнения действующих нормативно закреплённых требований. Отметим главные особенности настоящих практических рекомендаций:

- 1) Авторы излагают необходимый материал в порядке и форме, позволяющей предвидеть возможные изменения перечня задач, которые должны решаться производственными службами по рассматриваемой тематике.
- 2) По ряду процедур практические работники вооружаются значимым объемом справочного материала.
- 3) В отношении ряда рекомендательных документов формулируются ограничения в отношении их применения и разъясняются некоторые из наиболее консервативных положений.
- 4) По ряду оценок уровней воздействия прослеживается цепочка их последующего использования в агрегированных оценках, в том числе по отрасли, по субъектам Российской Федерации и стране в целом.
- 5) В рекомендациях представлен большой объем информации, связанной с интерпретацией данных по радиационным рискам и их сравнению с химическими рисками, который может быть полезен для взаимодействия эксплуатирующих организаций с общественностью.
- 6) Описание ряда обстоятельств, важных для углубленного понимания специалистами промышленных предприятий, природы существующих требований и ограничений, вынесено в приложения.

В рамках изложенного замысла в главе 1 дается характеристика действующих нормативно-правовых требований в сфере оценки и ограничения радиационного воздействия на человека и биоту. Изложение ведется в следующей последовательности:

- требования международных конвенций, ратифицированных Российской Федерацией, как правило, содержащие адресацию к международно признанным критериям и нормам;
- содержание международно признанных критериев и норм;

- действующие российские нормативно-правовые документы и нормы, а так же прогноз их стабильности или коррекции.

Кратко поясним это на примере Объединенной конвенции о безопасности обращения с отработавшим ядерным топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами. Договаривающиеся стороны, в том числе Российская Федерация, пришли к соглашению о следующем:

*«...каждая Договаривающаяся Сторона принимает соответствующие меры с тем, чтобы:*

*iv) предусмотреть эффективную защиту отдельных лиц, общества в целом и окружающей среды путем применения на национальном уровне соответствующих методов защиты, утвержденных регулирующим органом, в рамках своего национального законодательства, должным образом учитывающего одобренные на международном уровне критерии и нормы».*

Это не означает, что Российская Федерация в обязательном порядке воспроизвела в национальных документах все требования безопасности, изложенные в новом стандарте МАГАТЭ (Международные основные нормы безопасности МОНБ-2014). Но это означает, что на каждом из так называемых совещаний по рассмотрению, проводимых с интервалом, не превышающим трех лет, рассматриваются национальные доклады, представляемые в обязательном порядке каждой из стран, ратифицировавших конвенцию, российские регулирующие документы и соответствующая им практика могут рассматриваться на соответствие требованиям конвенции, международно признанным критериям, нормам и стандартам МАГАТЭ. В силу этого приведение российских нормативно-правовых требований в полное соответствие с ними может считаться неизбежным, хотя и реализоваться поэтапно. Опыт представления первых четырех Национальных докладов по исполнению обязательств, вытекающих из Объединенной конвенции о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами, показал, что уже принятые на тот период законы и нормативные акты являлись крупными шагами, оказавшимися достаточными для доказательства следования Российской Федерации требованиям Конвенции.

Неизбежность прогресса в результате взятых на государственном уровне обязательств является не единственной движущей силой. Сложившийся порядок развития системы радиационной защиты в определенной степени гарантирует её улучшение. Напомним, что в этом порядке есть определенная последовательность. НКДАР ООН обобщает все надежные оценки уровней воздействия и наблюдаемых эффектов действия атомной радиации и периодически представляет их Генеральной ассамблее ООН. МКРЗ, основываясь на этих докладах, регулярно выпускает свои рекомендации в форме отдельных публикаций. Существенные пересмотры системы защиты человека происходили в 1990 (Публикация 60) и 2007 (Публикация 103) годах. Как правило, принципы радиационной защиты не изменяются – это принципы обоснования и оптимизации, обращаемые к источнику ионизирующей радиации, и принцип нормирования, применяемый к человеку. Чаще всего изменяются операционные величины или так называемые сценарии облучения. В Публикации 103 выделяются три сценария облучения – планируемое, существующее и аварийное, и только для планируемого рекомендовано устанавливать дозовые пределы, направленные на ограничения источников облучения. Современная система защиты биоты сформирована Публикацией 91 (2003 г.). Она предусматривает установление относительно безопасных уровней. Рекомендации МКРЗ закрепляются в стандартах МАГАТЭ с учетом лучших мировых практик, что и произошло в 2014 году, когда были закреплены рекомендации МКРЗ 2007 г.

Таким образом, в части радиационного воздействия на человека материалы главы 1 содержат описание текущего состояния и прогноз изменения базовых требований в отношении радиационной защиты человека в контексте идей Публикаций 103 и 91 МКРЗ и Международных основных норм безопасности МОНБ-2014 [IAEA, 2014]. Здесь стоит отметить, что в отношении ядерного наследия и целого ряда территорий, которые были загрязнены в результате прошлой деятельности по формированию ядерного щита, рекомендации МКРЗ и МОНБ-2014 однозначно

указывают на обязательность установления национальных нормативов, которые бы закрепляли последовательность в реабилитационных работах и критерии реабилитации в зависимости от перспективных целей использования этих территорий.

В отношении радиационной защиты объектов окружающей среды ситуация несколько сложней. В 2014 году в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» было внесено много изменений, в том числе вступающих в силу в 2015–2018 годах. Нормативно-правовая конструкция некоторых из этих изменений еще не завершена. По этой причине объем допущений и предположений в области прогнозируемого изменения нормативно-правовой базы в этой сфере существенно выше.

Во второй главе представлено описание действующих систем оценки доз облучения человека и биоты. Сразу отметим, что в рамках описания одного из основных направлений деятельности – контроля доз облучения персонала, рекомендации предельно лаконичны. Это связано с тем, что в последние десять лет под эгидой специального методического совета был выпущен и в полном объеме освоен в организациях объемный методический материал. Одновременно авторам представлялось важным, чтобы практические работники эксплуатирующих организаций имели четкое представление о том, как их деятельность по обеспечению радиационной безопасности работников конкретного предприятия и по соблюдению установленных допустимых сбросов и выбросов отражается в итоговых документах, характеризующих состояние ядерной и радиационной безопасности.

Материал рекомендаций в части описания системы радиоэкологического мониторинга в Российской Федерации и оценки доз облучения референтных объектов биоты представлен в существенно более развернутом виде. В последнее время здесь произошло определенное структурное упорядочивание в соответствии с Положением о государственном мониторинге состояния и загрязнения окружающей среды, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 6 июня 2013 г. № 477. Для формирования целостной картины информация, полученная при осуществлении государственного мониторинга радиационной обстановки на территории Российской Федерации, поступает в единую государственную автоматизированную систему мониторинга радиационной обстановки (ЕГАСМРО) на территории Российской Федерации и ее функциональные подсистемы. Определены стандартные процедуры анализа информационных потоков и форматы их представления для широкой общественности, органов регулирования и управления. В соответствии с Постановлением правительства Российской Федерации от 10.07.2014 № 639 координация деятельности по ведению системы мониторинга и ее функциональных подсистем осуществляется Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

В третьей главе детально рассмотрена современная система ограничений по оценке воздействия объектов использования атомной энергии на население и окружающую среду. Введение в действие новых требований по установлению предельно допустимых выбросов (ПДВ) и подготовленный приказ Ростехнадзора о введении требований по установлению допустимых сбросов (ДС), которые заметно усложняют процедуру их расчета и одновременно ужесточают нормативные величины, потребуют от специалистов отрасли не только повышения квалификационного уровня, но и организации новых исследований для того, чтобы использовать в расчетах не консервативные (как предлагается в случае отсутствия), а типичные для региона параметры миграции радионуклидов. В ряде случаев это позволит получить и доказательно отстаивать реалистичные значения предельно допустимых выбросов и сбросов для своего предприятия, что может в свою очередь не только возместить расходы на исследовательские работы, но и получить положительный экономический эффект. Следует заметить, что введение новых производных ограничений, рассчитанных с максимальной консервативностью, безусловно, оказывает влияние на конкурентоспособность отечественных технологий на внешнем рынке, однако вместе с этим (при их приложении к конкретным предприятиям) повышаются требования к отечественным производителям. Порою, как это будет показано в следующих разделах книги, требования эти несоизмеримы с теми реальными угрозами, которые обусловлены всей

производственной деятельностью в регионе. И в этой связи важным в экологической политике является процесс установления адекватных приоритетов и ориентиров.

Глава четвертая и пятая посвящены как раз экологическому менеджменту, подробно рассмотрены практические рекомендации использования такого инструментария, как оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) и оценка экологического риска (ОЭР). В этих разделах показано развитие инструментария, становление теоретической базы, разработка методологии анализа и методов расчета. Приведены примеры практического применения этого инструментария на муниципальном и региональном уровнях. Дан краткий обзор основных отраслевых и национальных отчетных документов по состоянию радиационного воздействия на человека и окружающую среду.

Раздел 6 посвящен тем проблемным вопросам отечественного нормирования, которые, на наш взгляд, требуют взвешенного анализа и, возможно, некоторой корректировки. Важным моментом является гармонизация с международными требованиями и устранение противоречивости в национальном законодательстве. Этот раздел предназначен не столько для практического использования, а скорее специалистам и регулирующим органам для размышлений по поводу отдельных документов и отдельных положений.

### **Список использованных источников**

- 1 IAEA Safety Standards Series No. GSR. Part 3. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. – Vienna, 2014. – P. 436.
- 2 Основы экологической политики Росатома. Утв. 05.04.2005.
- 3 Приказ Министра РФ по атомной энергии № 67 от 19.02.2003 г.
- 4 Приказ Руководителя Федерального агентства по атомной энергии № 170 от 05.04.2005 г.
- 5 Проблемы ядерного наследия и пути их решения. Том 1. Под общей ред. Е.В. Евстратова, А.М. Агапова, Н.П. Лаверова, Л.А. Большова, И.И. Линге. – ОАО «Энергопроманистика», тир. 300, 2012, 356 с.
- 6 Проблемы ядерного наследия и пути их решения. Том 2. Развитие системы обращения с радиоактивными отходами в России. Под общей ред. Большова Л.А, Крюкова О.В., Лаверова Н.П., Линге И.И. – ОАО «Энергопроманистика», тир. 300, М.: 2013, 392 с.

# Глава 1 Регулирование радиационного воздействия на человека и биоту в Российской Федерации

Одной из характерных черт второй половины XX века стало повышенное внимание к новым техногенным факторам воздействия на человека и объекты живой природы. Среди этих новых видов воздействия особый интерес был проявлен к радиационным воздействиям и радиоактивным элементам. В концентрированном виде обобщение научных данных происходило и происходит в Научном комитете по действию атомной радиации ООН. Полученные фундаментальные знания о радиационном факторе и его воздействии позволили динамично развиваться разветвленной международной и отечественной нормативно-правовой базе, регулирующей самые различные аспекты применения радиационных источников и новых ядерных технологий.

Несмотря на расширяющееся распространение источников ионизирующих излучений и фактическую структуру доз облучения населения Российской Федерации, в которой доминируют природное и медицинское облучение, наиболее пристальное внимание государства и общества уделяется вопросам радиационного воздействия крупных промышленных предприятий относящихся к атомному комплексу России.

Регулирование деятельности этих организаций и рассматриваемого более узкого вопроса радиационного воздействия на человека и объекты окружающей среды является частью общей правовой системы государства и занимает свое место в правовой иерархии, включающей несколько уровней.

На конституционном уровне установлено, что в ведении Российской Федерации находятся: регулирование и защита прав и свобод человека и гражданина; федеральные энергетические системы, ядерная энергетика, расщепляющиеся материалы; установление основ федеральной политики и федеральные программы в области экономического, экологического развития Российской Федерации (ст. 71 Конституции Российской Федерации).

В совместном ведении Российской Федерации и субъектов Российской Федерации находятся защита прав и свобод человека и гражданина; охрана окружающей среды и обеспечение экологической безопасности; осуществление мер по борьбе с катастрофами, стихийными бедствиями, ликвидация их последствий (ст. 72 Конституции Российской Федерации).

Правовое регулирование отношений, связанных с использованием атомной энергии и связанного с ним радиационного воздействия, также осуществляется многоуровневой системой нормативных правовых актов, которая включает в себя:

- общепризнанные принципы и нормы международного права и международные договоры Российской Федерации, которые согласно Конституции Российской Федерации являются составной частью ее правовой системы (ч. 4 ст. 15 Конституции Российской Федерации);
- федеральные законы;
- иные нормативные правовые акты Российской Федерации, включая акты федеральных органов исполнительной власти, осуществляющих государственное регулирование безопасности и государственное управление использованием атомной энергии, а также нормативные правовые акты Госкорпорации "Росатом";
- нормативные правовые акты субъектов Российской Федерации и муниципальных образований по предметам их ведения.

*О требованиях международно-правового режима в области использования атомной энергии, охраны здоровья человека и охраны окружающей среды.*

На сегодняшний день Российская Федерация является участницей основных международных договоров в области использования атомной энергии, среди которых отметим:

- Конвенция о ядерной безопасности (1994 г., принята постановлением Правительства Российской Федерации от 03.04.1996 № 377);

- Конвенция об оперативном оповещении о ядерной аварии (1986 г.) и Конвенция о помощи в случае ядерной аварии или радиационной аварийной ситуации (1986 г.) (обе конвенции ратифицированы Указом Президиума Верховного Совета СССР от 14.11.1986 № 6035-ХІ);
- Объединенная конвенция о безопасности обращения с отработавшим ядерным топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами (1997 г., ратифицирована Федеральным законом от 04.11.2005 № 139-ФЗ);
- Венская конвенция о гражданской ответственности за ядерный ущерб (1963 г., ратифицирована Федеральным законом от 21.03.2005 № 23-ФЗ).

Российская Федерация также ратифицировала неядерные международные соглашения, направленные на охрану окружающей среды, среди которых:

Международная конвенция по предотвращению загрязнения моря с судов 1973 г. в редакции Протоколов 1978 г. и 1997 г. (МАРПОЛ 73/78/97); Лондонская конвенция о предотвращении загрязнения моря сбросами отходов и других материалов 1972 г., ратифицированные Российской Федерацией.

Отдельно следует выделить документы по вопросам, связанным с использованием атомной энергии и обеспечением ядерной и радиационной безопасности таких международных организаций, как ВТО, МОТ, ВОЗ, а также международные договоры, регламентирующие вопросы регионального сотрудничества в рассматриваемой сфере. Речь идет о нормативных правовых актах Единого экономического пространства, Таможенного союза, ЕврАзЭС, СНГ и других межгосударственных союзов.

Большое значение для развития национального атомного законодательства имеют принимаемые международными организациями нормы рекомендательного характера, содержащиеся в документах Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ), Агентства по ядерной энергии Организации экономического сотрудничества и развития, Международной комиссии по радиационной защите. Должный учет этих международно признанных критериев и норм зачастую предусмотрен международными конвенциями.

## **1.1 Современные системы радиологической защиты человека и объектов живой природы**

Формирование современной международной системы радиологической защиты (СРЗ) следует отнести к середине 50-х годов прошлого века. К этому времени были образованы специализированные организации и комитеты в системе ООН, и новый импульс работы в этом направлении был получен ранее созданными организациями:

- Научный комитет ООН по действию атомной радиации (НКДАР), учрежденный в 1955 году с целью организации сбора и оценки информации о воздействии радиоактивного излучения на организм человека и окружающую среду;
- Международная комиссия по радиологической защите (МКРЗ), созданная в 1928 году, - независимая международная организация, которая разрабатывает и предлагает свои рекомендации регулирующим и экспертным органам по фундаментальным принципам, на которых может быть основана радиологическая защита;
- Международная комиссия по радиологическим единицам и измерениям (МКРЕ), которая разрабатывает общепринятые определения величин и единиц измерения активности и радиации, для применения в системе радиологической защиты и радиозоологии;
- Международная организация труда (МОТ), принявшая в 1962 году Конвенцию о защите трудящихся от ионизирующей радиации № 115 (ратифицирована Указом Президиума Верховного Совета СССР в 1967 году);
- Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ);
- Продовольственная и сельскохозяйственная организация (ФАО) ООН;

- Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ), созданное в 1957 году, в том числе для того, чтобы

*«... устанавливать и применять, в консультации и, в надлежащих случаях, в сотрудничестве с компетентными органами Организации Объединенных Наций и с заинтересованными специализированными учреждениями, нормы безопасности для охраны здоровья и сведения к минимуму опасности для жизни и имущества (включая такие же нормы для условий труда), ... и обеспечивать, по требованию сторон, применение этих норм к деятельности, проводимой на основании любого двустороннего или многостороннего соглашения, или, по требованию того или иного государства, к любому виду деятельности этого государства в области атомной энергии» (Устав, статья III-6).*

- Агентство по ядерной энергии Организации экономического сотрудничества и развития (АЯЭ/ОЭСР), созданное в 1958 году для оказания помощи своим странам-членам в поддержании и дальнейшем развитии в рамках международного сотрудничества научных, технологических и правовых основ, необходимых для безопасного, экологически чистого и экономичного использования ядерной энергии в мирных целях.
- Международная Ассоциация по радиационной защите, созданная в 1965 году с целью обмена знаниями и опытом международных и национальных сообществ, вовлеченных в радиационную защиту человека и окружающей среды при использовании атомной энергии, по различным аспектам, включая науку, медицину, технику, технологии и законодательство.

Созданная система специализированных международных организаций обеспечила устойчивое развитие международной СРЗ по обобщению научных знаний (НКДАР), по актуализации основных принципов и концепций радиационной защиты и используемых величин (МКРЗ, МКРЕ), по регулированию, включая нормирование радиационного воздействия на человека (МАГАТЭ, МОТ, ВОЗ), и по внедрению в практику (МАРЗ и др.) (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Эволюция базовых рекомендаций МКРЗ и международных (национальных) норм радиационной безопасности [ICRP, 1959; ICRP, 1977; ICRP, 1991; ICRP, 2007; IAEA, 1962; IAEA, 1967; IAEA, 1982; IAEA, 1996; IAEA, 2014; ЕС, 2003; НРБ, 1969; НРБ, 1976; НРБ, 1987; НРБ, 1996; НРБ, 1999; НРБ, 2009]

Организация	Годы издания базовых публикаций			
	1954, 1958 Публ. 1	1977 Публ. 26	1990 Публ. 60	2007 Публ.103
МКРЗ	1954, 1958 Публ. 1	1977 Публ. 26	1990 Публ. 60	2007 Публ.103
МАГАТЭ	1962, 1967	1982	1996	2014
ЕС	1959, 1982	1989, 1990	1996, 1997, 2003	2013
СССР/Россия	1969, 1976, 1987	-	1996, 1999, 2009	-

Таблица 1.1 демонстрирует, что пересмотр основных рекомендаций по радиологической защите за последние 50 лет происходит через 13-20 лет, а внедрение их в форме международных норм с задержкой в 4-7 лет. По утверждениям МКРЗ изменения носят эволюционный характер и направлены на предсказуемое устойчивое развитие СРЗ. Основаниями для пересмотра служат новые биологические данные, изменения акцентов в обеспечении безопасности, крупные аварии, выявившие пробелы в критериях вмешательства, социально-экономические изменения в обществе, понимание значимости защиты окружающей среды, наряду с защитой человека. Так в 50-е годы соблюдение пределов доз считалось наиболее важным в обеспечении радиационной безопасности, так как основной целью признавалось исключение непосредственно наблюдаемых незлокачественных эффектов облучения, т.е. применялась концепция практического порога действия радиационного фактора. Последующее использование беспороговой гипотезы действия радиации привело к концепции ограничения риска возникновения рака и наследуемых эффектов, вызванных облучением. В большинстве ситуаций на первый план вышел принцип оптимизации, что привело к существенному снижению индивидуальных доз.

В Рекомендациях 1977 года в качестве приемлемого радиационного риска для персонала был принят годовой риск в наиболее безопасных отраслях промышленности на то время —  $10^{-4}$  год<sup>-1</sup>.



Принималось, что среднее облучение персонала равно 6 мЗв, исходя из дозового предела 50 мЗв и логнормального распределения индивидуальных доз. В этих предположениях номинальный коэффициент риска оценивался равным  $1 \cdot 10^{-2} \text{ Зв}^{-1}$ .

Пересмотр коэффициентов риска для японской когорты облученных лиц примерно в 5 раз привел в Рекомендациях 1990 года к пропорциональному снижению значений годовых дозовых пределов для населения с 5 до 1 мЗв и менее существенному снижению предела для персонала с 50 до 20 мЗв. Важным положением в этих рекомендациях стало разделение видов деятельности с источниками излучения на практическую деятельность (practice) и вмешательство (intervention). В первом случае концептуальной величиной становилась доза, добавляемая в результате деятельности, а во втором – предотвращаемая доза в результате вмешательства. Поводом для создания двух независимых подсистем радиационной защиты стала Чернобыльская авария, которая поставила остро вопрос обоснования мер радиационной защиты населения. Однако такое искусственное деление вызвало трудности при практическом внедрении Рекомендаций 1990 года. Поэтому в последних Рекомендациях 2007 года взамен видов деятельности и анализа процессов введены три ситуации облучения: планируемое, аварийное и существующее, которые рассматриваются с точки зрения радиационной защиты отдельно, в том числе в плане применения основных принципов и численных дозовых ограничений.

Одной из важных исходных предпосылок для эволюционного развития международной СРЗ стало ее разумное упрощение, связанное с принятием линейной беспороговой гипотезы действия ионизирующего излучения. Первое упрощение заключается в независимом рассмотрении трех категорий облучения: персонала, населения и пациентов. Суммирование облучения человека от этих трех категорий считается нецелесообразным в контексте радиационной защиты. В Российской Федерации такое суммирование доз и расчет коллективной дозы (включая последующее применение номинального коэффициента риска) предусмотрены в рамках радиационно-гигиенической паспортизации объектов и территорий [Постановление, 1997]. Однако сумма доз нормативно не ограничена.

Второе упрощение предполагает рассмотрение облучения человека в контексте радиационной защиты независимо от каждого отдельного источника (source related approach). В Российской Федерации регулирование радиационной безопасности на основе подхода «оценка защиты источника» возложено на Ростехнадзор, а регулирование облучения индивида (individual related approach) – на Роспотребнадзор. Исторически сложившееся распределение регулирующих функций предполагает наличие эффективных механизмов согласования федеральных норм и правил, в том числе в части контроля источника излучения и надзора за радиационной безопасностью.

Третье упрощение связано с ограничением области применения СРЗ. Для этого введены концепции исключения (exclusion) практически неконтролируемых облучений, изъятия (exemption) источников, создающих пренебрежимо малые риски, и освобождения (clearance) радиоактивных веществ на основании не превышения установленных уровней активности (удельной активности) из-под регулирующих требований. В отечественных НРБ-99/2009 область применения регулирующих требований соответствует международной (за исключением терминологии), но имеются разночтения в нормативно-правовых требованиях по процедурам уведомления, официального разрешения, регистрации и лицензирования. Последовательное закрепление дифференцированного подхода (graded approach) при реализации системы обеспечения безопасности и защиты осуществляется таким образом, чтобы применение регулирующих требований было соразмерно радиационным рискам, связанным с ситуацией облучения [IAEA, 2014].

В Рекомендациях 2007 года были закреплены положения, касающиеся оценки риска потенциального облучения и возможного воздействия на окружающую среду. МКРЗ считает, что в задачах радиационной защиты достаточно использовать номинальные коэффициенты риска, усредненные по возрасту и полу, так как СРЗ достаточно надежна, и не следует вводить возможную дополнительную дискриминацию среди персонала. В то же время в ГК «Росатом» в

настоящее время внедряются половозрастные модели риска НКДАР в целях оптимизации радиационной защиты персонала [Иванов и др., 2014]. Использование в рамках этой работы накопленных доз и формирование групп риска, т.е. ретроспективный подход, в принципе, выходит за рамки международной СРЗ.

Еще одно упрощение СРЗ предлагалось внести путем исключения избыточных количественных критериев безопасности и сохранения в качестве нормативной основы только дозовых пределов и граничных доз [Clarke, 2003]. Однако последующее широкое обсуждение проекта Рекомендаций в научном сообществе и регулирующих органах выявило стремление заинтересованных лиц к сохранению многих прежних подходов, уже внедренных в национальные нормы. К ним относятся:

- сохранение принципа обоснования практической деятельности, — выходящего далеко за рамки «чистой» радиационной защиты;
- согласованное применение основных физических, защитных, операционных и регистрируемых величин, которое требует развития моделей перехода между ними с использованием коэффициентов дозового преобразования;
- терминологические англоязычные особенности, например, «референтные уровни» для ситуаций аварийного и существующего облучения, которые по смыслу (но не численно) совпадают с «граничными дозами», «доза репрезентативного лица» — аналог «средней дозы в критической группе».

Текущий период отечественного нормирования характеризуется тем, что оно основывается на Рекомендациях МКРЗ 1990 года и соответствующих им МОНБ 1996 года, хотя в отдельных нормативных документах уже содержатся некоторые положения Рекомендаций МКРЗ 2007 года и МОНБ 2014 года.

Учитывая неизбежность гармонизации отечественного регулирования в области радиационной безопасности и современной международной СРЗ, дадим общую характеристику последней. основополагающие принципы безопасности, разработанные совместно с международными организациями [IAEA, 2006], включают следующее:

- *«Принцип 1. Ответственность за обеспечение безопасности.»*

*Главную ответственность за обеспечение безопасности должны нести лицо или организация, которые отвечают за установку или деятельность, связанные с радиационными рисками.*

- *Принцип 2. Роль правительства.*

*Должен быть создан и совершенствоваться эффективный правовой и правительственный механизм обеспечения безопасности, включающий независимый регулирующий орган.*

- *Принцип 3. Руководство и управление в интересах обеспечения безопасности*

*Необходимо создать и совершенствовать систему руководства и управления в интересах обеспечения безопасности в организациях, занимающихся радиационными рисками, и на установках и в рамках деятельности, связанных с радиационными рисками.*

- *Принцип 4. Обоснование установок и деятельности.*

*Эксплуатация установок и деятельность, связанные с радиационными рисками, должны приносить общие положительные результаты.*

- *Принцип 5. Оптимизация защиты.*

*Необходимо оптимизировать защиту, чтобы обеспечить наивысший уровень безопасности, который может быть реально достигнут.*

- *Принцип 6. Ограничение рисков в отношении физических лиц.*

*Меры по контролю за радиационными рисками должны обеспечивать, чтобы ни одно физическое лицо не подвергалось неприемлемому риску нанесения вреда.*

- *Принцип 7. Защита нынешнего и будущих поколений.*

*Нынешние и будущие население и окружающая среда должны быть защищены от радиационных рисков.*

*– Принцип 8. Предотвращение аварий.*

*Необходимо предпринимать все практически возможные усилия для предотвращения и смягчения последствий ядерных или радиационных аварий.*

*– Принцип 9. Аварийная готовность и реагирование.*

*Должны быть приняты меры по обеспечению аварийной готовности и реагирования в случае ядерных или радиационных инцидентов.*

*– Принцип 10. Защитные меры по уменьшению имеющихся или нерегулируемых радиационных рисков.*

*Защитные меры по уменьшению имеющихся или нерегулируемых радиационных рисков должны быть обоснованы и оптимизированы».*

Вышеуказанные принципы можно разделить на несколько групп. Первая группа относится к ответственности, регулированию и управлению в области радиационной безопасности (1-3). Эти принципы не имеют выраженной радиологической специфики и согласуются с принципами ведения любой деятельности, сопровождающейся рисками. Следующая группа представляет собой общеизвестные принципы обоснования, оптимизации и нормирования применительно к ситуациям планируемого облучения (4-6). Принцип 8 направлен на ограничение потенциального облучения в ситуациях планируемого облучения, а принципы 9 и 10 — к защите в ситуациях аварийного и планируемого облучения. Особое внимание следует обратить на принцип 7, который относится не к конкретному источнику или ситуации облучения, а территориям, на которых должна быть обеспечена защита от радиационных рисков для человека и окружающей среды в настоящее время и будущем.

Следующий иерархический уровень в международной системе нормирования занимают Общие и Специальные Требования по безопасности, которые раскрывают механизмы реализации основополагающих принципов и носят обязательный для исполнения характер (таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Перечень общих и специальных требований по безопасности [IAEA, 2015]

Общие требования	Специальные требования
Часть 1. Правительственная, правовая и регулирующая структуры безопасности	1. Выбор площадки для ядерного предприятия
Часть 2. Руководство и управление безопасностью	2. Безопасность АЭС 2.1 Проектирование 2.2 Ввод в эксплуатацию и эксплуатация
Часть 3. Радиационная защита и безопасность источников	3. Безопасность исследовательских реакторов
Часть 4. Оценка безопасности для установок и видов деятельности	4. Безопасность на предприятиях ЯТЦ
Часть 5. Обращение с отходами до захоронения	5. Безопасность радиоактивных отходов в пунктах захоронения
Часть 6. Вывод из эксплуатации и прекращение деятельности	6. Безопасное транспортирование радиоактивных материалов
Часть 7. Аварийная готовность и реагирование	

К числу принципиальных трудностей последовательного внедрения международных рекомендаций и стандартов следует отнести сложившееся «ментальное» отношение регулирующих органов, проектных и эксплуатирующих организаций к принципам нормирования и оптимизации. Как видно из таблицы 1.1, весь советский период развития атомной промышленности дозовые пределы и их производные уровни играли главенствующую роль в ограничении облучения персонала и ограниченной части населения, проживающей вблизи предприятий ЯТЦ. Более позднее установление квот от предела дозы для отдельных техногенных

источников (НРБ-99, НРБ-99/2009) представляло собой дальнейшее развитие принципа нормирования и считалось достаточным требованием количественного ограничения облучения населения.

Международные организации ставят во главу угла принцип оптимизации радиационной защиты, который применяется к источнику излучения на этапах его проектирования, эксплуатации и вывода из эксплуатации, включая обращение с РАО. В публикациях [ICRP, 2006; ICRP, 2007] принцип оптимизации поэтично назван душой и сердцем СРЗ, и поэтому настойчиво рекомендуется расширить процесс оптимизации, как за счет внедрения методологии анализа риска, так и путем более широкого привлечения заинтересованных лиц и воспитания культуры радиационной безопасности. Наряду с характеристиками облучаемого контингента (пол, возраст, состояние здоровья, группа риска, например, беременные женщины, поведенческие привычки) и характеристиками облучения человека (пространственно-временное распределение индивидуальных и коллективных доз, природный радиационный фон, вероятность потенциального облучения), при оптимизации следует учитывать социальные факторы (уровень медицинского обслуживания, индивидуальная и коллективная польза от источника, уровень радиологических знаний и информированности, общественное доверие), экологические факторы (возможное влияние на флору, фауну и климат), нерадиационные факторы, экономические и политические аспекты и регулирующие ограничения. Для ограничения области оптимизации МАГАТЭ предлагает использовать различные диапазоны годовых эффективных доз:

- около 1 мЗв, если польза от облучения для индивидуума мала или отсутствует, но имеется общественная польза от применения источника излучения. Это случай установления граничных доз для населения в ситуации планируемого облучения;
- 1-20 мЗв, если ситуация облучения (но не само облучение) приносит индивидууму пользу. Это относится к профессиональному облучению в ситуации планируемого облучения (граничная доза) или к облучению населения (референтная доза) в ситуации существующего облучения;
- 20-100 мЗв, если происходит потеря контроля над источником, например, в случае радиационной аварии.

Краткосрочные дозы свыше 100 мЗв неприемлемы, за исключением особых обстоятельств, обусловленных выполнением неотложных мероприятий аварийным персоналом и спасателями.

МКРЗ рекомендовал для некоторых частных случаев ситуации планируемого облучения в качестве верхней границы годовой дозы, выше которой облучение неприемлемо, а ниже которой лежит область оптимизации, следующие значения для населения: 0,3 мЗв при захоронении РАО и 0,1 мЗв при пролонгированном облучении долгоживущими радионуклидами. Для национальных регулирующих органов МКРЗ рекомендует устанавливать свои значения граничных и референтных доз, но не выше международных стандартов. Сравнение действующих отечественных нормативов в форме дозовых квот и производных уровней в форме допустимых сбросов и выбросов с современными международными нормами демонстрирует, в основном, соблюдение указанного условия. Исключение составляет переход на более жесткий предел для персонала группы А годовой эквивалентной дозы в хрусталике глаза – 20 мЗв в среднем в течение 5 последовательных лет (снижение предела дозы в 7,5 раза). При этом годовой предел дозы для населения сохраняется прежним – 15 мЗв. Преодоление этой сложности достигается путем проведения организационно-технических мероприятий. Необходимо тщательно проанализировать условия труда, существующие источники излучения, методы и средства защиты и данные ИДК для оценки возможности перехода на новый дозовый предел. Программы радиационного контроля на предприятиях следует подвергнуть углубленному анализу с целью оценки их соответствия возможным новым требованиям.

В отношении контроля внутреннего облучения необходимо предусмотреть внедрение современных моделей метаболизма радионуклидов в организме для корректного перехода от инструментальных измерений на рабочих местах к ожидаемой годовой эффективной и/или эквивалентной дозе.

До последнего времени МКРЗ исходило из примата защиты человека, считая, что «... нормы контроля окружающей среды, необходимые для защиты человека,...» обеспечат безопасность и других биологических видов. Комиссия рассматривает окружающую человека среду лишь постольку, поскольку через нее переносятся радионуклиды, способные непосредственно влиять на радиационную безопасность человека [ICRP, 1991]. Учитывая международные тенденции в области охраны окружающей среды, осознание ее уязвимости от промышленных загрязнителей, включая радионуклиды, международные организации, включая НКДАР, МКРЗ и Международный союз радиологов, инициировали работы по расширению области радиационного нормирования на биоту [ICRP, 2003; ICRP 2008; ICRP 2009; ICRP 2014; Pentreath, 2005; Brechignac et al., 2003]. Оценка воздействия на окружающую среду обычно достигается путем экологической экспертизы, в которой требуется отразить совокупность вредных факторов, методы их оценки и критерии безопасности для различных биологических видов. Такой интегрированный подход (holistic approach) с учетом характеристик техногенного источника и территориальных экологических особенностей в практическом аспекте должен быть направлен на устойчивое развитие сельского, лесного хозяйства, рыболовства и туризма, а также использования природных ресурсов. Основные вопросы, которые следует решить при переходе от научных биологических данных к нормированию, включают следующее:

- как можно упростить характеристику эффектов на территории?
- какие радиоэкологические критерии могут быть общими для заинтересованных лиц (критерии, используемые лицами принимающими решения, и критерии, существенные для людей, проживающих на рассматриваемой территории)?
- какие согласованные требования к экологическому контролю, включая радиоэкологический контроль, должны быть установлены регулирующим органом?

Определенный прогресс в развитии системы оценки радиационного воздействия на биоту связан с ограничением числа видов флоры и фауны, для которых проводится оценка радиационного воздействия (референтные виды) [ICRP, 2008]. Для них оценены дозовые факторы конверсии, позволяющие переходить от измеряемых параметров радиоактивного загрязнения объектов внешней среды к дозам облучения биоты, рекомендованы обобщенные пороговые значения суточной мощности дозы облучения флоры и фауны, которые могут применяться для оценки размера возможного вреда окружающей среде.

Однако в международных нормах радиационной безопасности [IAEA, 2014] нормативы для биоты отсутствуют и значение этой темы отражено в лаконичном декларативном виде.

## **1.2 Российское законодательство в области обеспечения радиационной безопасности человека и объектов живой природы**

Вопросы законодательного регулирования в части радиационного воздействия необходимо рассматривать в контексте общей системы регулирования деятельности в области использования атомной энергии.

Нормативно-правовое поле в анализируемой области составляют законодательные акты различных отраслей права (рисунок 1.1) с различными системами подзаконных документов. В рамках данного раздела будут кратко рассмотрены три из них: атомное право, законодательство в области санитарно-эпидемиологического благополучия в части радиационной безопасности населения и законодательство в области охраны окружающей среды. Подобная отраслевая (ведомственная) организация законодательного регулирования имеет свои преимущества – взаимодействие с каждым из регулирующих органов осуществляется по условно ограниченному объему требований. Однако во многих случаях практики подготовки документов для различных государственных экспертиз и разрешительных процедур требуется одновременный учет требований всей совокупности регулирующих документов. К таким ситуациям в настоящее время можно отнести подготовку материалов для государственной экологической экспертизы, в том числе материалов ОВОС, для главгосэкспертизы, для выдачи лицензии на сооружение объекта

использования атомной энергии. В недалеком будущем таким документом могут стать и материалы для получения комплексного экологического разрешения или для декларации о воздействии на окружающую среду.



Рисунок 1.1 – Правовая структура обеспечения радиационной безопасности в РФ

В силу ряда причин авторы считают нецелесообразным детальное рассмотрение действующих законодательных актов. Во-первых, это предстоящие возможные изменения законодательства, в особенности, в области охраны окружающей среды. Во-вторых, это практическая возможность ознакомления с актуальным состоянием законодательства с использованием информационных систем «Гарант» или «Консультант+». При этом, необходимо иметь в виду важную особенность. В этих системах представлена действующая и прошлые редакции законодательных актов. Поэтому ряд предстоящих изменений, закрепленных иными законодательными актами, может оказаться за рамками учета. В первую очередь, это относится к Федеральному закону от 21 июля 2014 г. N 219-ФЗ "О внесении изменений в Федеральный закон "Об охране окружающей среды" и отдельные законодательные акты Российской Федерации.

### 1.2.1 Федеральный закон от 21.11.1995 № 170-ФЗ "Об использовании атомной энергии"

Данный Федеральный закон составляет основу атомного права Российской Федерации.

Федеральным законом определяются объекты применения закона (объекты использования атомной энергии) и виды деятельности в области использования атомной энергии, для которых устанавливаются: общие положения регулирования отношений в области использования атомной энергии, в том числе, правовые основы государственного управления и государственного регулирования безопасности, закрепления прав, обязанностей и ответственности граждан, должностных лиц, предприятий и организаций, органов публичной власти в соответствующей сфере.

Собственно норм, касающихся критериев обеспечения радиационной безопасности и охраны окружающей среды, он не содержит. Понятийный аппарат статей данного федерального закона

оперирует более широкими понятиями, такими как «безопасность», «радиационная опасность», ущерб, причиненный радиационным воздействием и т.д.

Указанный федеральный закон:

- регламентирует общую систему нормативно правовых документов, обеспечивающих безопасную эксплуатацию объектов использования атомной энергии, основа которой — федеральные нормы и правила;
- устанавливает обязанность и ответственность эксплуатирующих организаций (ст. 35, ст. 61), в том числе по важным для рассматриваемой темы вопросам:
- безопасное для работников объектов использования атомной энергии и населения обращение с ядерными материалами и радиоактивными веществами и их хранение;
- учет индивидуальных доз облучения работников объектов использования атомной энергии;
- радиационный контроль в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения;
- информирование населения о радиационной обстановке в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения;
- ответственность за сокрытие информации о состоянии радиационного загрязнения окружающей среды;
- ответственность за соблюдение допустимых уровней выброса или сброса радиоактивных веществ в атмосферу, водную среду и недра.

Не менее важны и положения ст. 21 Федерального закона, посвященной вопросам государственного мониторинга радиационной обстановки на территории Российской Федерации. В первоначальной редакции статья была посвящена государственному контролю за радиационной обстановкой на территории Российской Федерации, как части системы государственного управления использованием атомной энергии. Одновременно обязанности по ведению радиационного контроля возлагались на эксплуатирующую организацию, в том числе в рамках производственного радиационного контроля. Изменения содержания статьи обусловлены поправками, внесенными Федеральным законом от 21.11.2011 № 331-ФЗ "О внесении изменений в Федеральный закон "Об охране окружающей среды". Эти изменения были ориентированы на повышение эффективности организации государственного экологического мониторинга, частью которого и стал государственный мониторинг радиационной обстановки, и более глубокое разделение понятий «мониторинг» и «контроль и надзор» в рамках природоохранного законодательства. Более детально они будут разобраны при рассмотрении Федерального закона от 10.01.2002 № 7-ФЗ "Об охране окружающей среды".

### **1.2.2 Федеральный закон от 09.01.1996 № 3-ФЗ "О радиационной безопасности населения"**

Федеральный закон от 09.01.1996 № 3-ФЗ "О радиационной безопасности населения" определяет правовые основы обеспечения радиационной безопасности населения в целях охраны его здоровья и обеспечения конституционных прав граждан на благоприятную окружающую среду. Этот закон, относящийся к законодательству в сфере санитарно-эпидемиологического благополучия, разрабатывался почти одновременно с ФЗ «Об использовании атомной энергии» и имеет несколько отличающуюся понятийную базу. Так, если в 170-ФЗ используется развернутый перечень объектов применения закона (ядерная установка, радиационный источник, пункт хранения, ядерные материалы, РВ, РАО и т.д.), то в 3-ФЗ используется более широкое понятие источника ионизирующего излучения. При этом в законе даются определения основных понятий, важных для рассматриваемого вопроса оценки воздействия, в том числе радиационной безопасности населения, ионизирующего излучения, естественного и техногенно измененного радиационного фона, эффективной дозы, санитарно-защитной зоны и зоны наблюдения.

Отметим несколько важных обстоятельств:

1. Данный федеральный закон отражает радиационно-гигиенические аспекты

регулирования радиационной безопасности, в том числе систему подзаконных нормативно-правовых актов (ст. 9): санитарных правил, норм, гигиенических нормативов, которые утверждаются в порядке, установленном законодательством Российской Федерации, федеральным органом исполнительной власти по санитарно-эпидемиологическому надзору.

2. Федеральным законом непосредственно (ст. 9) устанавливаются основные гигиенические нормативы (допустимые пределы доз) облучения на территории Российской Федерации в результате использования источников ионизирующего излучения:

- для населения средняя годовая эффективная доза равна 0,001 зиверта или эффективная доза за период жизни (70 лет) - 0,07 зиверта; в отдельные годы допустимы большие значения эффективной дозы при условии, что средняя годовая эффективная доза, исчисленная за пять последовательных лет, не превысит 0,001 зиверта;
- для работников средняя годовая эффективная доза равна 0,02 зиверта или эффективная доза за период трудовой деятельности (50 лет) - 1 зиверту; допустимо облучение в годовой эффективной дозе до 0,05 зиверта при условии, что средняя годовая эффективная доза, исчисленная за пять последовательных лет, не превысит 0,02 зиверта.

*Регламентируемые значения основных пределов доз облучения не включают в себя дозы, создаваемые естественным радиационным и техногенно измененным радиационным фоном, а также дозы, получаемые гражданами (пациентами) при проведении медицинских рентгенодиагностических процедур и лечения.*

3. В Федеральном законе использованы подходы к радиологической защите, заложенные в Рекомендациях МКРЗ 1990 года (Публикация 60) [ICRP, 1991]. В этой связи отметим, что нормы закона должны быть приведены в соответствие с требованиями новых международных документов по обеспечению радиационной безопасности, в том числе с Рекомендациями МКРЗ 2007 года (Публикация 103) [ICRP, 2007] и Международными основными нормами безопасности [IAEA, 2014]. Это предусмотрено Планом выполнения в 2012-2015 годах первоочередных мероприятий по реализации Основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года.

4. В законе широко используется понятие вреда, причиненного жизни и здоровью граждан в результате радиационного воздействия, но никаких критериев нанесения этого вреда закон не содержит.

5. Вопросы радиационной защиты (радиационной безопасности) объектов живой природы, за исключением человека, в законе не рассматриваются. Окружающая среда (среда обитания) рассматривается только как носитель радиоактивного загрязнения и источник облучения человека.

### **1.2.3 Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ "Об охране окружающей среды"**

Федеральный закон № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» является основой экологического законодательства РФ, в которое также входят Федеральный закон от 4 мая 1999 года N 96-ФЗ "Об охране атмосферного воздуха", Водный, Земельный и Лесной кодексы, Федеральный закон от 24 апреля 1995 года N 52-ФЗ "О животном мире", Федеральный закон от 23 ноября 1995 года N 174-ФЗ "Об экологической экспертизе", Федеральный закон от 24 июня 1998 года N 89-ФЗ "Об отходах производства и потребления", а также нормы Градостроительного кодекса Российской Федерации. Ориентация закона на обеспечение сбалансированного решения социально-экономических задач, сохранение биоразнообразия, обеспечение экологической безопасности предопределила его длительную историю, которая до настоящего времени не завершена.

В рассматриваемом законе представлены основы управления, права и обязанности граждан, общественных объединений и некоммерческих организаций, экономическое регулирование, нормирование, оценка воздействия и экологическая экспертиза, требования при осуществлении хозяйственной деятельности, порядок установления зон экологического бедствия и чрезвычайных ситуаций, регулирование статуса природных объектов, находящихся под особой охраной, организация



государственного экологического мониторинга и надзора, ответственность за нарушение законодательства, международное сотрудничество, а также другие правовые вопросы в области охраны окружающей среды. Впервые в отечественном законодательстве на уровне федерального закона были установлены общие положения о научных исследованиях в области охраны окружающей среды (глава XII) и основы формирования экологической культуры (глава XIII).

Федеральный Закон определил, что радиоактивные вещества – это один из видов загрязняющих веществ. Таким образом, все положения закона, регулирующие вопросы загрязнения окружающей среды, в полной мере относятся и к радиоактивным веществам.

Ряд статей данного ФЗ имеет непосредственное отношение к регулированию радиационного воздействия на окружающую среду. В соответствии со статьей 21 к нормативам качества окружающей среды относятся нормативы предельно допустимых концентраций химических веществ, включая радиоактивные вещества; нормативы, установленные в соответствии с физическими показателями состояния окружающей среды, в том числе с показателями уровней радиоактивности и тепла.

Статья 48 устанавливает требования в области охраны окружающей среды при использовании радиоактивных веществ и ядерных материалов. В соответствии со статьей 48, юридические и физические лица обязаны соблюдать правила производства, хранения, транспортировки, применения, захоронения радиоактивных веществ (источников ионизирующих излучений) и ядерных материалов, не допускать превышение установленных предельно допустимых нормативов ионизирующего излучения, а в случае их превышения немедленно информировать органы исполнительной власти в области обеспечения радиационной безопасности о повышенных уровнях радиации, опасных для окружающей среды и здоровья человека, принимать меры по ликвидации очагов радиационного загрязнения.

Следует отметить, что, несмотря на длительный период действия данного закона, ряд его положений, в том числе по нормативам качества окружающей среды, предусмотренных ст. 21, до последнего времени не получили практического нормативного развития. Хорошей иллюстрацией к данному доводу является статистическая справка, приведенная в работе [Комментарий, 2002]. В этой справке, со ссылкой на данные В.В. Петрова и М.М. Бринчука указывается, что по состоянию на 1991 г. количество веществ, для которых были введены нормативы предельно допустимых концентраций, достигло 1925. Впервые нормативы предельно допустимых концентраций для некоторых веществ в атмосферном воздухе были введены для 10 веществ в 1951 г., а к 1991 г. количество нормируемых веществ достигло 479. Нормативы предельно допустимых концентраций некоторых веществ в почвах начали вводить в 1980 г., а к 1995 г. их количество достигло 109. По данным этих специалистов до последнего времени в Российской Федерации сохраняли свое действие нормативные правовые акты, устанавливающие предельно допустимые концентрации (ПДК) по более чем:

- 500 веществам в атмосферном воздухе;
- 1600 веществам в водных объектах хозяйственно-питьевого назначения;
- 30 веществам в почвах.

В подавляющем большинстве они устанавливались из гигиенических принципов.

В Распоряжении Правительства РФ от 08.07.2015 N 1316-р [Распоряжение, 2015] утвержден прилагаемый к нему перечень загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды.

Перечень содержит 566 веществ, распределённых по трём средам:

- для атмосферного воздуха – 254 вещества, в т.ч. 94 радиоактивных изотопа в элементной форме и в виде соединений;
- для водных объектов – 249 веществ, в т.ч. 81 радиоактивный изотоп в элементной форме и в виде соединений;

- для почв – 63 вещества, в т.ч. 4 радиоактивных изотопа в элементной форме и в виде соединений.

Между тем, в соответствии с 7-ФЗ (ст.1), нормативы качества окружающей среды – это такие нормативы, при соблюдении которых обеспечивается благоприятная окружающая среда. В частности, нормативы предельно допустимых концентраций должны устанавливаться для различных веществ в зависимости от их опасности для тех или иных компонентов природной среды. При соблюдении этих нормативов не должна происходить деградация естественных экологических систем. На практике такие нормативы до сих пор не разработаны.

Обратим внимание на другое важное обстоятельство. В законе широко используется понятие вреда, в том числе дается определение «вред окружающей среде - негативное изменение окружающей среды в результате ее загрязнения, повлекшее за собой деградацию естественных экологических систем и истощение природных ресурсов». Однако, как и в случае вреда, причиненного жизни и здоровью граждан в результате радиационного воздействия, никаких критериев оценки этих негативных изменений закон не содержит.

В настоящее время можно утверждать, что законодательство в области охраны окружающей среды находится в переходном состоянии. Федеральный закон от 21 июля 2014 г. № 219-ФЗ внес ряд радикальных изменений в ФЗ об охране окружающей среды и отдельные законодательные акты РФ, направленных на формирование новой системы государственного регулирования, нормирования и экономического стимулирования в области охраны окружающей среды. Большая часть поправок вступила в силу с 1 января 2015 г., однако в полном объеме они вступят в силу с 1 января 2020 года.

Законом уточнены основные понятия, в том числе «нормативы допустимых выбросов», «нормативы допустимых сбросов». Введены такие определения, как «временно разрешенные выбросы», и «временно разрешенные сбросы» (эти поправки вступают в силу с 1 января 2019 г.), и «наилучшая доступная технология», при этом законом урегулирован порядок применения наилучших доступных технологий с целью комплексного предотвращения или минимизации негативного воздействия на окружающую среду.

Введено категорирование объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, объектов, оказывающих значительное негативное воздействие на окружающую среду и относящихся к областям применения наилучших доступных технологий (I категория), объектов, оказывающих умеренное негативное воздействие на окружающую среду (II категория), объектов, оказывающих незначительное негативное воздействие на окружающую среду (III категория), и объектов, оказывающих минимальное негативное воздействие на окружающую среду (IV категория) (ст.4.2 219-ФЗ). При установлении критериев, на основании которых осуществляется отнесение объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к соответствующей категории, учитывается целый ряд характеристик, в том числе для ОИАЭ – это особенности осуществления деятельности в области использования атомной энергии.

Критерии, на основании которых объекты, оказывающие негативное воздействие на окружающую среду, в зависимости от уровня такого воздействия могут быть отнесены к объектам I, II, III и IV категорий, устанавливаются Постановлением Правительством РФ [Постановление, 2015].

Категорирование объектов положено в основу будущей системы государственного регулирования экологической безопасности, включая разрешительную систему и систему государственного экологического надзора. Так, законом установлено, что для объектов I категории потребуется комплексное экологическое разрешение, содержащее обязательные для выполнения требования в области охраны окружающей среды (ст.31.1 7-ФЗ). Комплексное экологическое разрешение содержит: технологические нормативы, нормативы допустимых выбросов и сбросов, допустимых физических воздействий, нормативы образования отходов и лимиты на их размещение; требования к обращению с отходами производства и потребления; согласованную программу производственного экологического контроля; срок действия

комплексного экологического разрешения. Для объектов II категории, предусмотрен порядок представления декларации о воздействии на окружающую среду (ст.31.2). Для объектов III категории будет достаточна уведомительная отчетность. Для хозяйствующих субъектов, осуществляющих деятельность на объектах IV категории, разрешительный механизм не предусмотрен.

Категорирование объектов, заданное новой статьей 4.2 219-ФЗ, будет оказывать существенно влияние на:

- плату за негативное воздействие на окружающую среду (ст. 16.1 7-ФЗ, вступающая в силу 1 января 2016 года) и установление дополнительных коэффициентов (ст. 16.3, вступающая в силу 1 января 2016 года, а по отдельным частям с 1 января 2020 г.);
- установление нормативов допустимых выбросов и сбросов (ст. 22, вступает в силу с 1 января 2019 г.). Этой же статьей устанавливаются особенности для радиоактивных веществ;
- установление технологических нормативов и технических нормативов (ст. 23 в новой редакции, вступает в силу с 1 января 2019 г.);
- необходимость получения комплексного экологического разрешения (ст. 31.1 и 31.2, вступающие в силу с 1 января 2019 г.) для объектов категории I или подготовки декларации для объектов 2 категории;
- осуществление Федерального государственного экологического надзора;
- ведение производственного экологического контроля (ст. 67) и ряд других аспектов деятельности организации.

Закрепленный законом механизм направлен на обеспечение сочетания общего и индивидуального подходов к установлению мер государственного регулирования в области охраны окружающей среды, применяемых к юридическим лицам и индивидуальным предпринимателям, осуществляющим хозяйственную и (или) иную деятельность или планирующим осуществление такой деятельности, что закреплено в законе в качестве одного из основных принципов законодательства об охране окружающей среды.

Среди упомянутых отдельных законодательных актов, в которые также были внесены изменения, следует отметить: Федеральный закон от 23 ноября 1995 года N 174-ФЗ "Об экологической экспертизе", Федеральный закон от 24 июня 1998 года N 89-ФЗ "Об отходах производства и потребления", Федеральный закон от 4 мая 1999 года N 96-ФЗ "Об охране атмосферного воздуха", Градостроительный кодекс Российской Федерации.

На протяжении длительного периода законодательные нормы в области государственного мониторинга были представлены в главе X Федерального закона об охране окружающей среды. Эти нормы задавали самые общие рамки для наблюдения различных антропогенных воздействий на окружающую среду. При этом вопросы государственного радиационного контроля регулировались ФЗ «Об использовании атомной энергии». Одновременно этим же законом обязанности по ведению радиационного контроля возлагались на эксплуатирующую организацию, в том числе в рамках производственного радиационного контроля Федеральным законом от 09.01.1996 № 3-ФЗ "О радиационной безопасности населения".

Значительное изменение содержания понятия экологический мониторинг обусловлено поправками, внесенными Федеральным законом от 21.11.2011 № 331-ФЗ "О внесении изменений в Федеральный закон "Об охране окружающей среды" и вступившими в силу с 1 января 2012 года. Федеральный закон от 21.11.2011 № 331-ФЗ был принят с целью повышения эффективности организации государственного экологического мониторинга, частью которого и стал государственный мониторинг радиационной обстановки. Эти изменения связаны с более глубоким разделением понятий мониторинг и контроль и надзор в рамках природоохранного законодательства.

В соответствии со статьей 63.1 Федерального закона от 10.01.2002 № 7-ФЗ "Об охране окружающей среды", единая система государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды) создается как многокомпонентная система, которая в том числе включает в себя подсистемы: государственного мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды; государственного мониторинга атмосферного воздуха; государственного мониторинга радиационной обстановки на территории Российской Федерации; государственного мониторинга земель; государственного мониторинга состояния недр; государственного мониторинга водных объектов, на основе которых формируется государственный фонд данных государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды). Постановлением Правительства Российской Федерации от 09.09.2013 № 681 "О государственном экологическом мониторинге (государственном мониторинге окружающей среды) и государственном фонде данных государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды)" определено, что государственный экологический мониторинг осуществляется путем создания и обеспечения функционирования наблюдательных сетей и информационных ресурсов в рамках подсистем единой системы мониторинга, а также создания и эксплуатации Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации государственного фонда данных государственного экологического мониторинга. Этим постановлением закреплено, что создание и обеспечение функционирования наблюдательных сетей и информационных ресурсов в рамках подсистемы государственного мониторинга радиационной обстановки на территории Российской Федерации единой системы мониторинга осуществляется: Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с участием федеральных органов исполнительной власти, уполномоченных на осуществление государственного экологического мониторинга, и органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации в соответствии с их компетенцией, установленной законодательством Российской Федерации. Федеральные органы исполнительной власти и органы государственного управления использованием атомной энергии, в соответствии со статьями 10 и 20 комментируемого Федерального закона, организуют государственный мониторинг радиационной обстановки на территории Российской Федерации, в том числе в районах расположения объектов использования атомной энергии, принадлежащих эксплуатирующим организациям, и участвуют в его осуществлении. Содержание деятельности по осуществлению государственного экологического мониторинга определяется пунктом 4 статьи 63.1 Федерального закона от 10.01.2002 № 7-ФЗ "Об охране окружающей среды". В рамках данной деятельности также предусмотрено: "направление в органы государственной власти, уполномоченные на осуществление государственного контроля (надзора), и правоохранительные органы информации о нарушении нормативов в области охраны окружающей среды вследствие воздействия природных и (или) антропогенных факторов и предложений об устранении таких нарушений". Таким образом, результаты государственного мониторинга экологической обстановки должны инициировать механизмы государственного контроля и надзора. В отношении результатов государственного мониторинга радиационной обстановки это уже закреплено статьей 24.1 Федерального закона «Об использовании атомной энергии». Она предусматривает, что основанием для проведения внеплановой проверки (инспекции) является и поступление в орган государственного регулирования безопасности официальных данных государственного мониторинга радиационной обстановки на территории Российской Федерации, свидетельствующих о ее изменении в связи с эксплуатацией объектов использования атомной энергии.

Содержание части 2 статьи 21 № 170-ФЗ однозначно определяет автоматизированный характер государственного мониторинга радиационной обстановки, что является принципиальным отличием от иных подсистем государственного экологического мониторинга и фактором, определяющим возможности использования его результатов в управлении безопасностью при использовании атомной энергии. В соответствии с Федеральным законом от 01.12.2007 № 317-ФЗ "О Государственной корпорации по атомной энергии "Росатом", Госкорпорация "Росатом" осуществляет государственный контроль за радиационной обстановкой в районах размещения

ядерных установок, радиационных источников и пунктов хранения, принадлежащих ее акционерным обществам, учреждениям, подведомственным предприятиям (п. 7 ст. 10).

Вопросы координации деятельности по ведению единой государственной автоматизированной системы мониторинга радиационной обстановки на территории Российской Федерации и ее функциональных подсистем должны быть определены Правительством Российской Федерации.

Соответствующие Правила организации и ведения единой государственной автоматизированной системы мониторинга радиационной обстановки на территории Российской Федерации и ее функциональных подсистем были утверждены постановлением Правительства РФ от 10 июля 2014 г. N 639. Эти правила прямо предусматривают адресацию к более общему порядку, утвержденному постановлением Правительства Российской Федерации от 6 июня 2013 г. N 477 "Об осуществлении государственного мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды". В соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 6.06.2013 № 477 (п.5а), Росгидромет с участием других уполномоченных федеральных органов исполнительной власти и органов исполнительной власти Российской Федерации в соответствии с их компетенцией обеспечивает проведение наблюдений за радиоактивным загрязнением окружающей среды в рамках подпрограммы государственного мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды.

Отметим несколько принципиальных моментов, важных для эксплуатирующих организаций.

Правила не фиксируют конечный перечень данных, которые могут быть интерпретированы как «информация о радиационной обстановке». В соответствии с Правилами (п.7), «требования к сбору, обработке, хранению, предоставлению, распространению информации о радиационной обстановке, содержащейся в системе мониторинга и ее функциональных подсистемах, а также к обмену информацией о радиационной обстановке устанавливаются Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации по согласованию с Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, органами управления и иными заинтересованными федеральными органами исполнительной власти».

Правила предусматривают, что информация о радиационной обстановке незамедлительно представляется Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и органами управления в систему мониторинга и ее функциональные подсистемы, незамедлительно передаются и другие данные, после осуществления измерений параметров радиационной обстановки, например, содержания радионуклидов в пробах воздуха. В соответствии с Правилами, доступ к информации о радиационной обстановке обеспечивается Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды или органами управления, осуществляющими организацию и ведение системы мониторинга и ее функциональных подсистем. Этот доступ должен предоставляться федеральным органам исполнительной власти, органам государственной власти субъектов Российской Федерации и органам местного самоуправления, а также юридическим лицам, индивидуальным предпринимателям и гражданам.

### **1.3 Радиационно-гигиеническое и экологическое нормирование**

В системе обеспечения радиационной безопасности особого внимания заслуживают нормативные документы, поскольку они носят не только регулирующий, но и превентивный характер. Практическое обеспечение радиационной безопасности человека и окружающей среды опирается на разветвленную систему подзаконных нормативно-правовых актов:

- в отношении источников облучения — нормы, технические регламенты;
- в отношении человека — санитарные правила, нормы, гигиенические нормативы;
- в области охраны окружающей среды — нормативы качества окружающей среды и нормативы допустимого воздействия на окружающую среду при ведении хозяйственной и иной деятельности.

К превентивным защитным мерам радиационной безопасности относятся ограничения, накладываемые на сами источники радиационного воздействия. В этой области, возможно техническое регулирование на основе измеряемых параметров. На практике именно в этой сфере сосредоточено основное регулирование радиационной безопасностью. Этой части будет посвящена отдельная глава.

Анализу нормативной базы, направленной на практическую защиту здоровья человека и сохранение окружающей среды, будут также посвящены отдельные главы книги. Здесь же кратко рассмотрим только некоторые из них, обращая внимание на ключевые и проблемные вопросы.

### 1.3.1 Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)

Постановлением от 07.07.2009 № 47 «Об утверждении СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)» были введены с 1 сентября 2009 г. 6-ые по счету Нормы радиационной безопасности (далее НРБ-99/2009). Нормы устанавливают основные пределы доз, допустимые уровни воздействия ионизирующего излучения по ограничению облучения населения. Основное внимание, как и прежде, уделено ограничению дозовых нагрузок на население при использовании атомной энергии и источников ионизирующего излучения. В НРБ-99/2009 установленные Законом (ст. 9 ФЗ № 3 От 09.01.1996) допустимые пределы доз увязаны с номинальными величинами коэффициентов риска, принятыми МКРЗ (Публикация 103). Кроме того, частично в Нормах учтено и требование Международных Основных Норм Безопасности (МОНБ) МАГАТЭ [IAEA, 2014] о раздельном рассмотрении ситуаций планируемого, существующего и аварийного облучения. Что касается планируемого и аварийного облучения населения, то здесь расхождения международных и отечественных норм носят скорее терминологический характер. Тем не менее, эти расхождения требуют некоторых полезных с практической точки зрения комментариев. Публикация 103 МКРЗ и выпущенные в 2014 г. МОНБ предлагают к использованию следующую систему радиационной защиты в различных ситуациях облучения (таблица 1.3).

Таблица 1.3 - Граничные дозы и референтные уровни, используемые в международной системе радиационной защиты

Тип ситуации	Профессиональное облучение	Облучение населения	Медицинское облучение
Планируемое облучение	Предел доз Граничная доза	Предел доз Граничная доза	Диагностический референтный уровень
Аварийное облучение	Референтный уровень	Референтный уровень	Не применимо
Существующее облучение	Не применимо	Референтный уровень	Не применимо

Граничная доза для профессионального облучения — это такая величина индивидуальной дозы, которая используется на конкретном производстве для ограничения возможных вариантов защиты в процессе оптимизации. В какой-то мере, «граничная доза» соответствовала «контрольному уровню» (НРБ-99), который закреплял достигнутый в организации (отрасли) уровень радиационной безопасности, правда, исчезнувший из НРБ-99/2009.

Для облучения населения граничная доза является верхней границей доз, которые лица из населения могут получать за один год планируемой эксплуатации любого контролируемого источника излучения (Публикация 103). По сути своей это понятие соответствует отечественной квоте на годовую дозу, выделяемой на конкретный используемый источник облучения. Например, в сложившейся практике на вновь строящиеся АЭС выделяется квота (граничная доза) в 0,1 мЗв/год [СанПин, 2004], а на захоронение РАО — ≤ 0,3 мЗв/год [ICRP, 2007].

В ситуациях аварийного и существующего облучения МКРЗ предлагает использовать термин «референтный уровень». Различие в терминологии между ситуациями планируемого и аварийного облучения отражает тот факт, что в ситуациях планируемого облучения ограничение индивидуальных доз может быть введено на стадии планирования, а сами дозы поддаются прогнозированию, обеспечивающему не превышение граничной дозы. В других ситуациях может

реализоваться более широкий диапазон облучения, а процесс оптимизации может быть применен на первоначальных уровнях индивидуальных доз, превышающих референтный уровень.

Важно отметить, что МКРЗ особо подчеркивает, что ни граничная доза, ни референтные уровни не являются демаркационной линией между «безопасным» и «опасным» и не отражают какого-либо скачка в радиационном риске.

В отношении существующего облучения населения рекомендации МКРЗ направлены на то, чтобы сделать ситуацию облучения, прежде всего, контролируемой, а намечаемые меры в случае отклонений от «нормальных» условий были бы последовательно оптимизированы. Референтный уровень служит здесь ориентиром для разработки оптимизированных стратегий, которые снизят индивидуальные дозы облучения ниже референтного уровня. При этом МКРЗ указывает, что конечная точка оптимизации не должна быть задана заранее, а выработанный оптимизированный уровень защиты будет зависеть от реальной ситуации. В ответственность регулирующих органов входит принятие решения о юридическом статусе референтного уровня, который устанавливается в данной ситуации. Референтные уровни могут быть использованы в качестве репера для оценки эффективности стратегии защиты при ретроспективном анализе, когда меры защиты уже были внедрены.

МКРЗ и МАГАТЭ рекомендует для этих референтных уровней диапазон величин в интервале от 1 до 20 мЗв.

Гармонизация отечественных нормативных документов с международными рекомендациями особенно актуальна именно в области определения порядка установления референтных уровней для существующего облучения населения либо на отдельной территории, либо на национальном уровне. Здесь в наших нормативных актах, ограничивающих отдельные источники, ответственные за формирование существующего облучения (радон, строительные материалы, используемые для жилых и общественных зданий, строительства дорог, ряд удобрений), имеется возможность выработать требования, отвечающие как фундаментальным представлениям, так и международному консенсусу.

В то же время территория страны достаточно неоднородна по величинам уже существующего фона, и, чтобы планировать защитные меры помимо мониторинга существующих источников облучения, необходима разработка стратегий по снижению уровней облучения (например, при реабилитации ранее загрязненных территорий). И в этом случае необходимость установления надзорными органами референтных уровней становится очевидной. Такие уровни на первом этапе могут быть установлены и как национальные нормативы. Здесь важным моментом является то, что референтный уровень охватывает для конкретного индивидуума весь спектр источников ионизирующего излучения, воздействующих на него. И последующая стратегия по оптимизации радиационной обстановки может быть направлена не на все источники облучения. Действующие Основные санитарные правила — ОСПОРБ-99/2010 фактически для природных источников облучения устанавливают систему таких референтных уровней (п. 5.1.2 [Санитарные, 2010]).

*«Степень радиационной безопасности населения характеризуют следующие значения эффективных доз облучения от всех основных природных источников излучения:*

- менее 5 мЗв/год - приемлемый уровень облучения населения от природных источников излучения;*
- свыше 5 до 10 мЗв/год - облучение населения является повышенным;*
- более 10 мЗв/год - облучение населения является высоким.*

*Мероприятия по снижению уровней облучения природными источниками излучения должны осуществляться в первоочередном порядке для групп населения, подвергающихся облучению в дозах более 10 мЗв/год”.*

По существу, если данный пункт ОСПОРБ-99/2009 расширить за счет добавления, следующей фразы:

Степень радиационной безопасности населения характеризуют следующие значения эффективных доз облучения от всех основных природных источников излучения, а также от глобальных выпадений, радиационных аварий и предшествующей деятельности, осуществленной до 01.01.2000 г.

А дальше необходимо ввести либо отдельную систему ограничений медицинского облучения, либо в соответствии с рекомендациями МКРЗ образовать новую систему, которая бы характеризовала степень радиационной опасности для населения в результате этих двух вышеперечисленных факторов. И тогда под существующим облучением населения будет пониматься всё облучение, создаваемое природными источниками, предшествующими авариями и производственной деятельностью, а также в результате проводимых на территориях диагностических процедур. При этом планируемое медицинское облучение с целью лечения пациентов не должно входить в оценку среднего уровня для территорий.

Нормы радиационной безопасности помимо дозовых пределов, являющихся основополагающими величинами, содержат достаточно много производных величин, которые можно измерить инструментальными средствами, именно поэтому они особенно важны в практической работе. Мы в своём анализе коснёмся только производных от основного дозового предела, касающихся обеспечения радиационной безопасности населения. Две наиболее используемые производные величины это:

- допустимая объёмная активность радионуклида в воздухе (ДОВА<sup>нас</sup>) и
- допустимая концентрация в питьевой воде ДК<sub>в</sub>.

Несмотря на то, что на протяжении последних 50 лет, эти величины несколько изменяли свои наименования, их смысл всегда оставался неизменным и понятным. На рисунках 1.2 и 1.3 показаны изменения значений допустимых концентраций отдельных радионуклидов в воде и воздухе на всем протяжении отечественного нормирования.

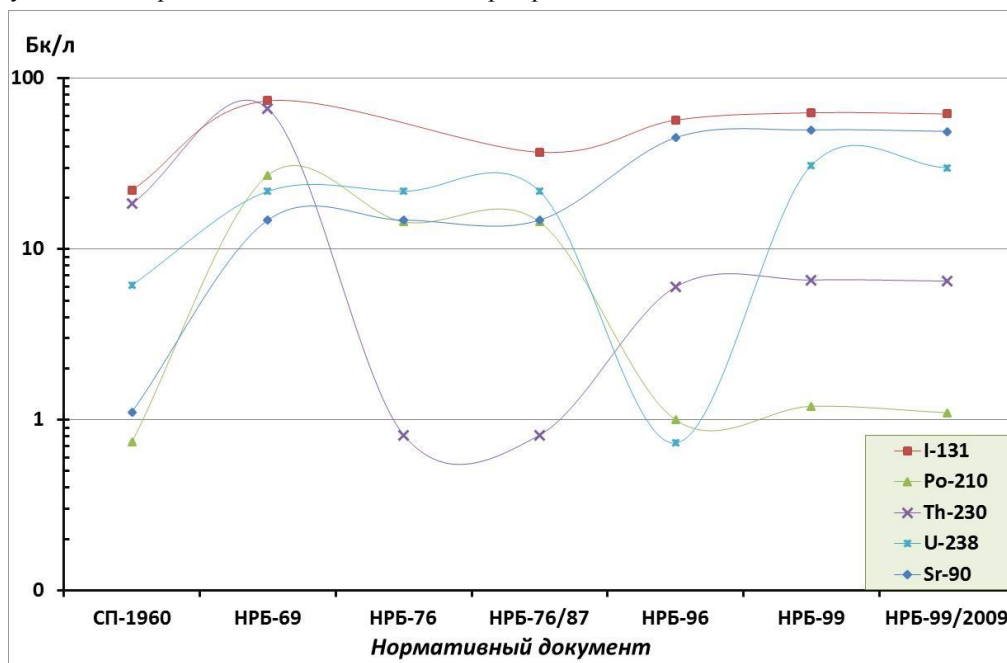


Рисунок 1.2 - Допустимая концентрация отдельных радионуклидов в воде



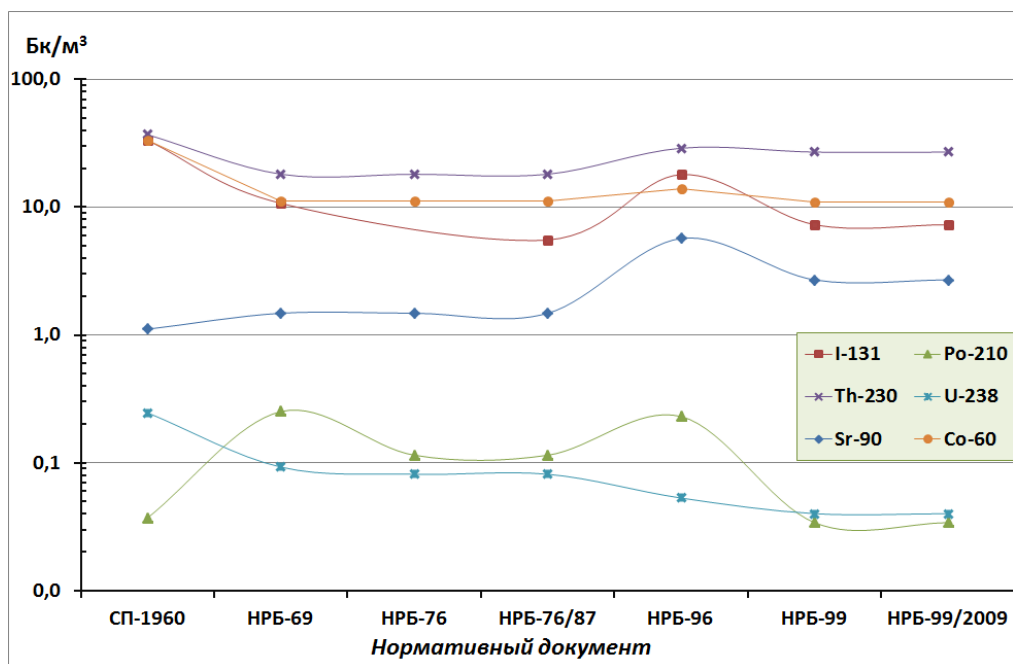


Рисунок 1.3 - Допустимая для населения концентрация отдельных радионуклидов в воздухе

Обращает на себя внимание тот факт, что нормативы по воде в большинстве своём не изменились, когда в 1990 г. МКРЗ рекомендовала уменьшить (средний за 5 лет) основной дозовый предел для населения с 5 мЗв/год до 1 мЗв/год. Хотя, например, для  $^{210}\text{Po}$  они и ужесточились в 14 раз, а для  $^{238}\text{U}$  даже в 30 раз (но последний норматив продержался всего 3 года, ослабев затем в 42 раза). Интересно также, что для  $^{90}\text{Sr}$  за 50 лет норматив ослаб в 50 раз<sup>2</sup>. Такую же в целом не очень логичную картину можно наблюдать и по нормированию концентраций радионуклидов в воздушной среде.

В 1996 г., вместо ожидаемого ужесточения нормативов в 5 раз, видим даже их некоторое ослабление для ведущих радионуклидов. Опять же последовательное ужесточение можно наблюдать лишь для  $^{210}\text{Po}$  и  $^{238}\text{U}$ .

Подобная динамика в нормировании основных производных величин указывает на сложный характер их установления, когда в расчёт принимаются не только токсикологические качества вещества, но и уровень развития технологий, возможностей контроля, а также социальные причины. О роли последних говорит хотя бы тот факт, что в 60-ые годы в результате бурной полемики вокруг испытаний ядерного оружия и сопутствующего глобального загрязнения планеты в качестве наиболее серьёзного фактора радиационной опасности выступал изотоп  $^{90}\text{Sr}$ . Установленные для него нормативы (в частности, в СП-1960 [Санитарные, 1960]) по содержанию в воде и в воздухе были чрезмерно жёсткими, не вытекающими прямо из дозового предела. По мере того, как акценты в области радиационной защиты смещались, происходило и ослабление ограничений для этого изотопа. Авария на ЧАЭС переключила внимание на опасность от  $^{131}\text{I}$  и особенно от  $^{137}\text{Cs}$ . Это с одной стороны позволило ещё более ослабить нормативы для  $^{90}\text{Sr}$  и одновременно ужесточить нормативы по  $^{137}\text{Cs}$ . Ярko проявился социальный элемент влияния на

<sup>2</sup> Некоторые специалисты трактуют УВ по воде рассчитанный, исходя из предела дозы в 0,1 мЗв/год, как новый ограничительный уровень близкий по смыслу к ДК<sub>в</sub>. Однако, это не совсем так, и в НРБ-99/2009 записано: "При невыполнении условия  $\sum_i A_i / УВ_i \leq 1$  защитные мероприятия по снижению содержания радионуклидов в питьевой воде должны осуществляться с учетом принципа оптимизации". Т.е. УВ играет роль некоторого предупредительного уровня.

регулирование и при аварии на АЭС «Фукусима-Дайичи», когда японское правительство ужесточило в несколько раз нормативы по содержанию  $^{137}\text{Cs}$  в воде и продуктах питания. В данном случае производные нормативные величины начинали использоваться в роли социальных регуляторов.

Важное значение для практических расчётов по оценке дозовых нагрузок на население имеют дозовые коэффициенты, позволяющие переходить от поступления единичной активности радионуклида в организм человека с воздухом или перорально к эффективной дозе. Значения этих коэффициентов для критических групп населения приводятся в Приложении II НРБ, начиная с 1996 года. Оценкам величин этих коэффициентов уделялось большое внимание в рамках Международной Комиссии по радиологической защите. Не будем останавливаться на долговременных экспериментальных работах и модельных расчётах, отметим только, что их результаты находят отражение в основных международных рекомендациях. В основных нормах безопасности (МОНБ-2014) МАГАТЭ эти коэффициенты приводятся для 6 возрастных групп, трех форм растворимости для аэрозольных частиц, поступающих ингаляционным путем, и ряда форм в случае, если вещество распространяется в виде газа или пара. Величины дозовых коэффициентов, приведённых в НРБ-99/2009 [НРБ, 2009], совпадают со значениями дозовых коэффициентов при пероральном поступлении. При ингаляции также отмечается совпадение для аэрозольных частиц, хотя в НРБ приводятся, в отличие от МОНБ-2014, только рекомендуемые величины по степени растворимости радиоактивного вещества и только для критических групп населения. При этом прямых ссылок на МОНБ-1997 [IAEA, 1997] нет. Для нуклидов, которые в основном существуют в газообразной форме, в НРБ выбраны самые консервативные значения. Отечественные нормы по-прежнему ориентированы в первую очередь на максимальное ограничение источника ионизирующего излучения, что было важно в период развития и становления атомных технологий, и, по-видимому, становятся сдерживающим моментом, когда эти технологии стали одними из многих, а нормативы по разным причинам стали существенно жестче.

Международная практика последних лет указывает на тенденцию получать более реалистичные оценки дозовых нагрузок на население, как при использовании источников ионизирующего излучения, так и в других ситуациях, когда человек помимо его воли оказывается подверженным различным факторам радиационного воздействия. В этом смысле все большая детализация параметров в международных регламентирующих документах призывает и российских ученых использовать накопленный опыт. Кроме того, этот опыт уже сегодня позволяет очертить на нормативном уровне ту область радиационного воздействия на человека, которая с большой вероятностью не вызывает неблагоприятных эффектов для его здоровья, а также интервалы воздействия, внутри которых необходимо производить оценки эквивалентных поглощенных доз с целью возможного их регулирования. Вероятно, в эти нормативные требования следует перенести из НРБ и переработанные уровни, которые определяют разные меры вмешательства, направленные на предотвращение дополнительного и необоснованного облучения.

### **1.3.2 Регламенты в области охраны окружающей среды**

Нормирование в области охраны окружающей среды заключается в установлении нормативов качества окружающей среды и нормативов допустимого воздействия на окружающую среду при ведении хозяйственной и иной деятельности. Различают гигиенические нормативы, вводимые для обеспечения безопасности человека, а также экологические, рыбохозяйственные и иные критерии нормирования качества компонент природной среды, регламентирующие допустимость антропогенного воздействия на биоту. Новые веяния в этой области связаны с разработкой подходов к оценке ущерба, нанесённого собственно окружающей среде в результате использования источников ионизирующего излучения, а также поиска эквивалентных компенсационных механизмов.

Существующая система регламентации техногенных нагрузок до настоящего времени базировалась на санитарно-гигиенических нормативах. В санитарно-гигиеническом нормировании

основной объект — организм человека, основная его цель — сохранение здоровья каждого индивида. В конце прошлого века сохранение видового разнообразия и благоприятной окружающей среды постепенно стало выходить из области декларирования, в практическую сферу регулирования.

Установление нормативов качества окружающей среды основывается в современной международной практике на концепции порогового воздействия вредных веществ на отдельные виды биоты и в целом на биоценоз. За величину порога для выбранного критерия воздействия принимается уровень не обнаружения экологического эффекта. Иными словами такой уровень воздействия, который не изменяет величину естественной вариабельности, характерной для выбранного критерия. Граница эта очень тонкая и потому установление количественных величин является своего рода компромиссом между защитниками природы и производителями.

В международном научном сообществе и среди регуляторов ещё не выработано общей позиции, как это давно сделано, внедрено и периодически пересматривается в радиационной безопасности человека. Пока только достигнут консенсус относительно того, что нормирование для обеспечения надлежащего качества окружающей среды должно быть разработано, и, как первый шаг, определены для этого основополагающие методологические принципы. Принципы эти не новы, в основе их лежит разумность и практичность. Их практическая реализация уже осуществлена в ряде передовых стран, они все шире внедряются в национальные правовые системы. Основные разночтения касаются численных величин, получение которых действительно затруднено из-за неполноты имеющейся к настоящему времени информации по экологическим эффектам. Однако работа по накоплению такого опыта ведется в различных направлениях лабораториями многих стран.

Ключевым моментом при организации оценок экологических рисков является вопрос об установлении и обосновании критериев радиационного воздействия. МАГАТЭ создало ряд рабочих групп в рамках программы «MODARIA – Modelling and Data for Radiological Impact Assessments»<sup>3</sup> (2012-2015 гг.), одна из которых, в числе прочих, будет исследовать проблему установления и верификации предельных уровней радиационного воздействия на биоту и вопросы оценки радиационных экологических рисков.

Методы оценки рисков можно классифицировать следующим образом: детерминистские методы; вероятностные методы; интегральные вероятностные методы.

При реализации детерминистского метода оцениваются показатели, представляющие собой отношения дозовой нагрузки к величине критерия риска (например, допустимого уровня облучения). Особенность этого метода заключается в относительной простоте его реализации и небольшом объеме требуемой входной информации. Среди его недостатков стоит выделить отсутствие учета неопределенностей и, как следствие, приблизительный характер оценок (иными словами – низкая точность).

В рамках вероятностного метода 1-го типа для описания риска используется распределение характеристики действующего фактора. Оценка влияния ионизирующего излучения на выбранный объект биоты проводится на основе распределения дозы, которая может быть поглощена в нем. Оценивается вероятность превышения порога воздействия и проявления биологического эффекта. В рамках вероятностного метода 2-го типа критерий риска представляет собой распределение вероятности чувствительности объекта биоты к ионизирующему излучению. В этом случае, оценивается вероятность проявления эффекта при фиксированной дозовой нагрузке, которая может быть и меньше установленного критерия.

В более общем случае, в качестве входных данных используются статистические распределения, как дозовой нагрузки, так и использованного критерия оценки риска. Такой подход позволяет учесть неопределенности, присущие рассматриваемому объекту и характеристикам окружающей среды, определяющим интенсивность радиационного воздействия.

---

<sup>3</sup> См. подробнее: <http://www-ns.iaea.org/projects/modaria/>

В современной практике пока прививается наиболее простой детерминистский метод, позволяющий переходить к грубым оценкам возможного ущерба. Одновременно для организации радиозоологического контроля за состоянием окружающей среды внедряется почти повсеместно и вполне оправданно многоуровневая структура мониторинга, включающая в себя: алармовый (аварийное оповещение о чрезвычайной радиационной ситуации), скрининговый, базовый и исследовательский уровни.

В основе такого подхода является «*Градуированный метод оценки доз облучения водной и наземной биоты*», разработанный Департаментом энергетики США [US DOE, 2002] для проверки и демонстрации того, что деятельность подведомственных Департаменту радиационно опасных предприятий не наносит ущерба природной среде на прилегающих территориях. Цель этого подхода – оценка радиозоологических рисков для природной среды, которая проводится на нескольких уровнях – от первичного скрининга до детального анализа ситуации. По мере перехода от одного уровня к другому возрастает скрупулезность анализа, требования к входным данным, точность и специфичность результатов, с точки зрения привязки к местности. Оценка радиационного воздействия на этапе первичного скрининга является консервативной (детерминистский метод) и базируется на величине SOF (sum of fractions):

$$SOF = \sum_{ij} \frac{C_{ij}}{BCG_{ij}}, \quad (1.1)$$

представляющей собой сумму отношений максимальных измеренных активностей  $C_{ij}$  каждого из  $i$  радионуклидов в каждом из  $j$  природных компонентов (вода, донные отложения, почва) к соответствующим предельным значениям  $BCG_{ij}$ . Величины  $BCG$  (Biota Concentration Guide) являются производными величинами, получаемыми из значений «предельных доз» для выбранных видов биоты, принятых Департаментом энергетики США на основе анализа существующих данных о последствиях острого и хронического радиационного воздействия на биоту. Действующие два уровня «Предельных доз» в США установлены для четырех групп организмов:

- 10 мГр/сут (4 Гр/год) – для водных животных и наземных растений и
- 1 мГр/сут (0,4 Гр/год) – для сухопутных и прибрежных животных.

По сути, вышеприведенные уровни являются уровнями безопасности для живых существ. Если сравнивать их с уровнями безопасности для человека, то можно отметить, что первые полстолетия изучения радиационного воздействия на живую материю позволили установить относительную безопасность хронического облучения человека (примерно с 10-20-кратным коэффициентом запаса) как раз на уровне 1 мЗв/сут [Recommendations, 1951].

Дальнейшее ужесточение нормативов в рамках международного сообщества опиралось на гипотетические представления о возможном беспороговом механизме радиационных повреждений на генетическом уровне, что подтверждалось экспериментально при больших дозах воздействия на представителей биоты.

К настоящему времени в отношении других видов (помимо человека), наряду с детерминистскими биологическими эффектами, к настоящему времени собран значительный материал и по стохастическим эффектам, который позволяет, с учетом радиочувствительности видов (отличающейся, по меньшей мере, на 3 порядка величины для млекопитающих и вирусов), установить уровни воздействия, обеспечивающие радиационную безопасность для большинства видов (рисунок 1.4).

## Жизнь на Земле и радиация

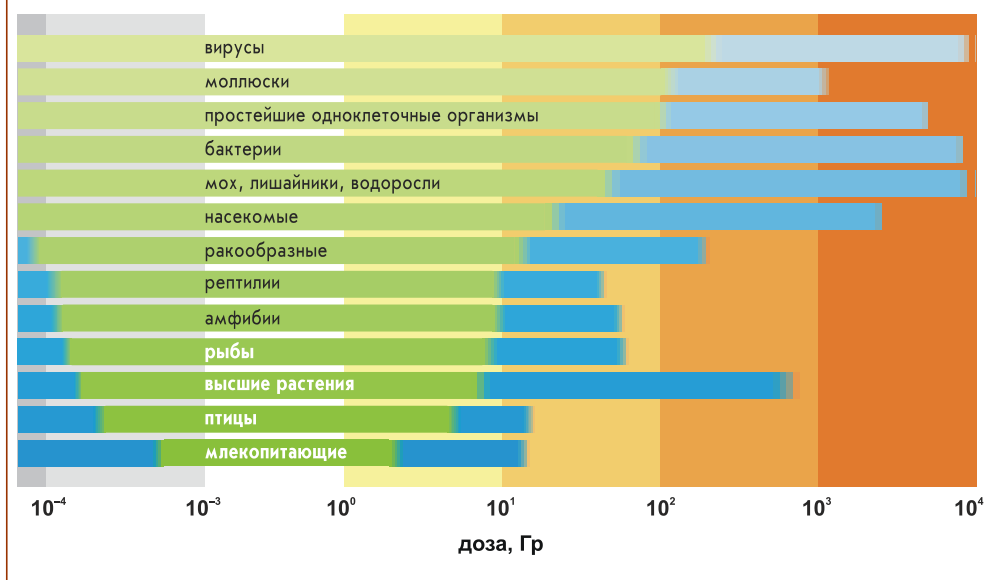


Рисунок 1.4 - Приблизительные области острых летальных доз (синий цвет) для различных обитателей Земли (использованы материалы [UNSCEAR, 1996]), зеленым цветом показаны области дозовых нагрузок ионизирующей радиации, в которых популяции нормально существуют

Хотя полного согласия по системе ограничений радиационного воздействия для биоты не достигнуто, международным сообществом рекомендованы в настоящее время следующие диапазоны уровней, представленные в таблице 1.4.

«Градуированный метод» представляет собой логичный и последовательный подход к оценке воздействия радиационного излучения на природную среду. Все расчеты осуществляются с помощью специально разработанного программного обеспечения RESRAD-BIOTA [RESRAD-BIOTA, 2004], что обеспечивает согласованность и сравнимость получаемых разными пользователями оценок.

Развитие этого метода будет рассмотрено в главе 4.

### Выводы и практические рекомендации

1. Разработка практических методов оценки радиационного воздействия объектов использования атомной энергии на человека и объекты живой природы основывается на нормативно-правовой базе в области радиационной безопасности и охраны окружающей среды, фундаментальных знаниях о радиационном факторе и данных мониторинга радиационной обстановки.

2. Эволюция базовых рекомендаций МКРЗ и национальных норм радиационной безопасности РНКРЗ направлена на предсказуемое устойчивое развитие системы радиационной защиты. Основаниями для пересмотра служат новые биологические данные, изменения акцентов в обеспечении безопасности, крупные аварии, выявившие пробелы в критериях вмешательства, социально-экономические изменения в обществе, понимание значимости защиты окружающей среды, наряду с защитой человека.

Таблица 1.4 – Уровни облучения биоты, рекомендуемые для ограничения радиационного воздействия различными международными организациями и научными группами [Andersson et al., 2008]

Первоисточник	Предельные уровни облучения биоты, мкГр/час					
	(НКРЗ, 1991)	(МАГАТЭ, 1992)	(НКДАР, 1996)	(СЕРА, 1999)	(ERICA, 2003)	(МКРЗ, 2009)
Наземные экосистемы						
Растения		400	400	100	10	
Сосна						4-40
Злак						40-400
Животные		40	40		10	
Беспозвоночные				200		
Пчела						400-4000
Дождевой червь						400-4000
Утка						4-40
Млекопитающие				100		
Олень						4-40
Крыса						4-40
Водные экосистемы						
Пресноводные	400	400	400		10	
Водоросль				100		
Макрофиты				100		
Беспозвоночные				200		
Лягушка						4-40
Рыба				20		
Форель						40-400
Морские	400		400		10	
Краб						400-4000
Камбала						40-400
Бурая водоросль						40-400
Глубоководные организмы		1000			10	

3. Текущее состояние отечественного нормирования характеризуется тем, что оно основывается на Рекомендациях МКРЗ 1990 года и соответствующих им международных основных норм безопасности (МОНБ) 1996 года, хотя в отдельных нормативных документах уже содержатся некоторые положения Рекомендаций МКРЗ 2007 года и МОНБ 2014 года.

4. В Рекомендациях МКРЗ 2007 года взамен предшествующих Рекомендаций 1990 года, предусматривающих разделение видов деятельности с источниками излучения на практическую деятельность и вмешательство в рамках независимых подсистем радиационной защиты, введены три ситуации облучения: планируемое, аварийное и существующее, которые рассматриваются с точки зрения радиационной защиты раздельно, в том числе в плане применения основных принципов и численных дозовых ограничений.

5. В контексте международной системы радиационной защиты (СРЗ) производится независимое рассмотрение трех категорий облучения: персонала, населения и пациентов. Суммирование облучения человека от этих трех категорий считается нецелесообразным. В Российской Федерации такое суммирование доз и расчет коллективной дозы предусмотрены в рамках радиационно-гигиенической паспортизации объектов и территорий. Однако сумма доз нормативно не ограничена.

6. В Российской Федерации регулирование радиационной безопасности на основе подхода «оценка защиты источника» возложено на Ростехнадзор, а регулирование облучения индивида – на Роспотребнадзор. Исторически сложившееся распределение регулирующих функций

предполагает наличие эффективных механизмов согласования федеральных норм и правил, в том числе в части контроля источника излучения и надзора за радиационной безопасностью человека. В контексте международной СРЗ предполагается рассмотрение облучения человека независимо от каждого отдельного источника.

7. Из-под регулирующих требований международной СРЗ исключаются практически неконтролируемые облучения, источники, создающие пренебрежимо малые риски, и радиоактивные вещества на основании не превышения установленных уровней активности (удельной активности). В отечественных НРБ-99/2009 область применения регулирующих требований соответствует международной (за исключением терминологии), но имеются разночтения в нормативно-правовых требованиях по процедурам уведомления, официального разрешения, регистрации и лицензирования.

8. В соответствии с международными основными нормами безопасности 2014 года (МОНБ-2014) дифференцированный подход (graded approach) при реализации системы обеспечения безопасности и защиты осуществляется таким образом, чтобы применение регулирующих требований было соразмерно радиационным рискам, связанным с ситуацией облучения.

9. Для ограничения области оптимизации в МОНБ-2014 предлагается использовать различные диапазоны годовых эффективных доз:

- около 1 мЗв, если польза от облучения для индивидуума мала или отсутствует, но имеется общественная польза от применения источника излучения. Это случай установления граничных доз для населения в ситуации планируемого облучения;
- 1-20 мЗв, если ситуация облучения (но не само облучение) приносит индивидууму пользу. Это относится к профессиональному облучению в ситуации планируемого облучения (граничная доза) или к облучению населения (референтная доза) в ситуации существующего облучения;
- 20-100 мЗв, если происходит потеря контроля над источником, например, в случае радиационной аварии.

Краткосрочные дозы свыше 100 мЗв неприемлемы, за исключением особых обстоятельств, обусловленных выполнением неотложных мероприятий аварийным персоналом и спасателями.

10. В рекомендациях 1990 года МКРЗ исходило из примата защиты человека, считая, что «... нормы контроля окружающей среды, необходимые для защиты человека,...» обеспечат безопасность и других биологических видов. МКРЗ рассматривала окружающую человека среду лишь постольку, поскольку через нее переносятся радионуклиды, способные непосредственно влиять на радиационную безопасность человека. Учитывая международные тенденции в области охраны окружающей среды, осознание ее уязвимости от промышленных загрязнителей, включая радионуклиды, НКДАР ООН, МКРЗ, МАГАТЭ и Международный союз радиэкологов инициировали работы по расширению области радиационного нормирования на биоту. В МОНБ-2014 содержится рекомендация о необходимости подтверждать (а не исходить из предположения), что окружающая среда защищена от промышленного радиационного воздействия.

11. Нормирование в области охраны окружающей среды заключается в установлении нормативов качества окружающей среды и нормативов допустимого воздействия на окружающую среду при ведении хозяйственной и иной деятельности. В РФ различают гигиенические нормативы, вводимые для обеспечения безопасности человека, а также экологические, рыбохозяйственные и иные критерии нормирования качества компонент природной среды, регламентирующие допустимость антропогенного воздействия на биоту.

12. Ключевым моментом при организации оценок экологических рисков является установление и обоснование национальных критериев радиационного воздействия на объекты живой природы. МКРЗ в публикации 108 предлагаются следующие референтные безопасные уровни мощности дозы облучения: 1 мГр/сут для позвоночных животных и сосны, 10 мГр/сут для других растений и беспозвоночных животных.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Andersson P., Beaugelin-Seiller K., Beresford N.A., et al. Deliverable 5: Numerical Benchmarks for Protecting Biota from Radiation in the Environment: Proposed Levels, Underlying Reasoning and Recommendations. Report for the PROTECT Project. EC Contract Number: 036425 (FI6R). Centre for Ecology & Hydrology-Lancaster. – Lancaster, 2008. – P. 13.
- 2 Bréchnignac F., Polikarpov G., Oughton D.H., Hunter G., Alexakhin R., Zhu Y., Hilton J., Strand P. Protection of the environment in the 21st century : Radiation protection of the biosphere including humankind. Statement of the International Union of Radioecology. Journal of Environmental Radioactivity, 70, 2003: 155-159.
- 3 Clarke R.J. ICRP Memorandum. The evolution of the system of radiological protection: the justification for new ICRP recommendations. J. Radiol. Prot. 23, 129-142, 2003. Перевод на русск. язык: Р. Кларк. Меморандум. Эволюция системы радиационной защиты: обоснование и необходимость разработки новых рекомендаций МКРЗ /Медицинская радиология и радиационная безопасность. № 4, 2003, с. 26-37. IAEA, 2006.
- 4 EC 2003. Technical Guidance Document in Support of Commission Directive 93/67/EEC on Risk assessment for new notified substances and commission regulation (EC) No 1488/94 on Risk assessment for existing substances/ Luxemburg: Office for official publication of the European Commission, 2003.
- 5 IAEA 1962. Basic Safety Standards for Radiation Protection, Safety Series No. 9 (1962 Edition). IAEA, Vienna, 1962.
- 6 IAEA 1967. Basic Safety Standards for Radiation Protection, Safety Series No. 9 (1967 Edition). IAEA, Vienna, 1967.
- 7 IAEA 1982. Basic Safety Standards for Radiation Protection, Safety Series No. 9 (1982 Edition). IAEA, Vienna, 1982.
- 8 IAEA 1996. International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series No. 115. IAEA, Vienna, 1996 (русск, изд. 1997 г.).
- 9 IAEA 2006. Fundamental safety principles: safety fundamentals. – IAEA Safety Standards Series No. SF-1 - Vienna : International Atomic Energy Agency, 2006.
- 10 IAEA 2014. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, IAEA Safety Standards Series No. General Safety Requirements, Part 3. No GSR-3, IAEA, Vienna, 2014.
- 11 IAEA 2015. Long term structure on the IAEA Safety Standards and current status. November 2014.
- 12 ICRP 1959. Publication 1. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, 1959.
- 13 ICRP 1977. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 26, Ann. ICRP 1 (3). 1977.
- 14 ICRP 1991. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60, Ann. ICRP 21 (1-3). 1991.
- 15 ICRP 2003. A Framework for Assessing the Impact of Ionising Radiation on Non-human Species. ICRP Publication 91. Ann. ICRP 33 (3).
- 16 ICRP 2006. The Optimisation of Radiological Protection - Broadening the Process. ICRP Publication 101b. Ann. ICRP 36 (3).
- 17 ICRP 2007. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (Users Edition). ICRP Publication 103 (Users Edition). Ann. ICRP 37 (2-4).
- 18 ICRP 2008. Environmental Protection - the Concept and Use of Reference Animals and Plants. ICRP Publication 108. Ann. ICRP 38 (4-6).
- 19 ICRP 2009. Environmental Protection: Transfer Parameters for Reference Animals and Plants. ICRP Publication 114. Ann. ICRP 39(6)
- 20 ICRP 2014. Protection of the Environment under Different Exposure Situations. ICRP Publication 124. Ann. ICRP 43(1).



- 21 Pentreath R.J. Concept and Use of Reference Animals and Plants. In: Protection of the Environment from Effects of Ionizing Radiation, IAEA-CN-109, IAEA, Vienna, 2005. P. 411-420.
- 22 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection and International Commission on Radiological Units, U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards, Handbook 47 Issued June 29, 1951, 29 p.
- 23 RESRAD-BIOTA: A tool for implementing a graded approach to biota dose evaluation. ISCORSTechnical Report 2004-02; DOE/EH-0676. National Technical Information Service, Springfield, VA. The Office of Health, Safety and Security [Электронный ресурс]: DOE/EH-0676. Режим доступа: <http://homer.ornl.gov/sesa/environment/bdac/resrad.html>.
- 24 UNSCEAR. Effects of ionizing radiation on the environment. Annex to Sources and effects of ionizing radiation. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly. – New York: United Nations, 1996. 86 p.
- 25 US DOE – United States Department of Energy. A graded approach for evaluating radiation doses to aquatic and terrestrial biota. DOE-STD-1153-2002. – Washington DC, 2002. – P. 234.
- 26 Иванов В.К., А.М. Карело, А.П. Панфилов, С.В. Райков. АРМИР: система оптимизации радиологической защиты персонала. – М., Изд. Перо, 2014. – 302 с.
- 27 Комментарий к Федеральному закону от 10 января 2002 г. N 7-ФЗ "Об охране окружающей среды" (под ред. О.Л. Дубовик). - Специально для системы ГАРАНТ, 2010 г. – 651 с.
- 28 НРБ 1969. Нормы радиационной безопасности (НРБ-69). М.: Атомиздат, 1970. – 112 с.
- 29 НРБ 1976. Нормы радиационной безопасности НРБ-76 и Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений ОСП-72/80 – 2-е издание, переработанное и дополненное. М.: Энергоиздат, 1981. - 96с.
- 30 НРБ 1987. Нормы радиационной безопасности НРБ-76/87 и основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующего излучения ОСП-72/87. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1988.-160с.
- 31 НРБ 1996. Нормы радиационной безопасности (НРБ-96). Гигиенические нормативы (ГН 2.6.1.054-96). М.: Госсанэпиднадзор России, 1996. – 128 с.
- 32 НРБ 1999. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). СП 2.6.1.758-99. М.: Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России, 1999. – 116с.
- 33 НРБ 2009. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. - 100 с.
- 34 Постановление Правительства РФ от 28 января 1997 г. N 93 "О порядке разработки радиационно-гигиенических паспортов организаций и территорий" (с изменениями и дополнениями от 10 июля 2014 г.)
- 35 Распоряжение Правительства РФ от 08.07.2015 N 1316-р «Об утверждении перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды».
- 36 Санитарные правила и нормативы СП 2.6.1.2612-10 Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010) (утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 26 апреля 2010 г. № 40) .
- 37 Санитарные правила работы с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений. – М.: Атомиздат, 1960. – 61 с.
- 38 СанПиН 2.6.1.24-03 “Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций” (СП АС-03). М.: 2004, 66 с.

## Глава 2 Системы оценки доз облучения человека и биоты

Практическая деятельность по оценке радиационного воздействия на человека и объекты живой природы (биоту), как и все другие виды деятельности, должна опираться на накопленный опыт в данной области, в том числе и нормативно закреплённые требования с ориентацией не только на действующие нормы, но и на их развитие. В этом смысле созданные и функционирующие с разной степенью полноценности системы оценки радиационного воздействия атомных производств на человека и объекты окружающей среды дают значимое и предметное преимущество для организации безопасного функционирования атомной отрасли.

### 2.1 Системы учета доз облучения населения в России

В области изучения действия ионизирующего излучения на человека в XX веке проведено значительно больше исследований, чем при изучении любого другого источника потенциальной опасности для здоровья людей. Одним из основных научно доказанных критериев опасности техногенного облучения для человека являются возможные онкологические заболевания. Однако сложность практических оценок заключается в том, что в формировании канцерогенных эффектов ИИ является неспецифическим фактором, и наблюдаемые эффекты содержат соизмеримый или, в большинстве случаев, преобладающий фон спонтанных событий [Ильин и др., 2005]. Поэтому достоверное выявление потенциальной связи наблюдаемых эффектов с радиационным воздействием и оценка соответствующих уровней риска является сложной задачей, требующей огромного статистического материала. Практически основным источником информации подобного рода могут быть радиационно-эпидемиологические регистры.

Мировая система учета дозовых нагрузок на различные группы населения начала складываться с созданием в стране атомной отрасли. Толчком к развитию системы учета доз и одновременно первым практическим опытом стала когорта облученных людей LSS (Life Span Study), сформированная из жителей двух японских городов, переживших атомные бомбардировки. Наблюдение за когортой LSS положило начало системе планомерных радиационно-эпидемиологических исследований. По результатам полувекового наблюдения были получены данные, позволившие судить о долговременных последствиях воздействия излучения.

Кроме кратковременного (острого) радиационного воздействия, облучавшаяся популяция имела достаточно много дополнительныхотягчающих факторов, индивидуальных физических условий, влияние условий жизни во время войны, стресс от всего пережитого во время этих атак, влияние пожаров и радиоактивного загрязнения. Существенным пробелом, влияющим на неопределенность последующих оценок, явилось почти полное отсутствие информации о причинах гибели людей в первые 5 лет после бомбардировки. Определенная настороженность существует и при использовании данных по контрольной когорте. Эти лица во время бомбардировки находились за пределами эпицентра взрывов на расстоянии 3 и больше километров, и считается, что полученные ими дозы острого облучения были менее 5 мГр. Точной оценки дозы также установить невозможно, ибо ни косвенные оценки, ни метод электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) при дозах меньших, чем 100 мГр, не дает достаточной точности [Булдаков и Калистратова, 2005]. Достоверные оценки линейных коэффициентов риска, как правило, приводятся в дозах, превышающих 500 мГр, а для более низких доз статистическая погрешность настолько велика, что их интерпретация крайне затруднена. Даже при более высоких дозах данных зачастую недостаточно для достоверной оценки рисков редких раковых заболеваний.

Когорта LSS имеет и другие ограничения, которые важно учитывать при интерпретации результатов анализа радиационного риска в этой когорте. Во-первых, это популяция Японии, имеющая географические, этнические и социально-экономические особенности. Во-вторых, в популяцию включены люди, которые пережили начальные эффекты взрыва, в том числе и острое облучение, то есть произошел селективный отбор, и в когорту включены наиболее крепкие по

здоровью члены популяции. Кроме того, собранный по когорте LSS материал недостаточно обширен, чтобы степень адекватности экстраполяционных моделей могла бы не вызывать сомнений [Shigematsu, 2000].

Результаты анализа данных в когорте LSS регулярно публикуются в отчетах Исследовательского Фонда воздействия радиации (всего 14 отчетов), в работах МКРЗ, НКДАР ООН, БЕИР и ведущих радиационно-эпидемиологических изданиях. Результаты анализа радиационного риска в когорте LSS по существу лежат в основе существующей системы радиационного нормирования.

В России учет доз облучения персонала был впервые налажен на ПО «Маяк», где под руководством Н.А. Кошурниковой начал создаваться регистр работников этого первенца советской атомной индустрии [Ильин и др., 2003]. Начиная с 1947 г. проводился учет радиационного воздействия для разных категорий работающих. Уровни облучения составляли от десятков миллизивертов до нескольких зивертов в год. При этом в первые пять лет работы диагностировали хроническую лучевую болезнь, когда накопленные дозы превышали 1 Зв. За весь период работы было зарегистрировано около 2073 случаев хронической лучевой болезни [Дощенко и Булдаков, 1995; Дощенко и Булдаков, 2003]. С 1985 года в ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России ведется уникальный для мирового сообщества регистр и база данных по острым лучевым поражениям человека. В этом же научном центре уделяется повышенное внимание радиационно-гигиеническим и эпидемиологическим исследованиям на атомных объектах России и в закрытых административно-территориальных образованиях (ЗАТО).

В лаборатории радиационной эпидемиологии Южно-Уральского института биофизики был создан регистр ликвидаторов последствий радиационной аварии 1957 года на ПО «Маяк», который включал более 40 тысяч человек, принимавших участие в ликвидационных работах с 29.09.57 г. по 31.12.61 г. [Болотникова и др., 2002; Кабирова и др., 2007]. В этой же лаборатории сформирован и ведется медико-дозиметрический регистр детского населения, включающий в себя более 86 тысяч человек 1934-2006 годов рождения, которые родились или приехали в город Озерск (Челябинск-40, Челябинск-65) в возрасте от 0 до 14 лет и прожили в нем не менее 1 года. Кроме того, в регистр включены дети, рожденные в городе и умершие до года, а также мертворожденные [Кошурникова и др., 2003].

Научная значимость каждого регистра во многом определяется качеством и полнотой описания доз облучения, полученных каждым индивидом. Такая же проблема стояла и перед сотрудниками Озерского регистра. Для ее решения неоднократно привлекались ведущие отечественные и зарубежные специалисты. Так в рамках российско-американского сотрудничества была выполнена работа по реконструкции дозовых нагрузок на персонал ПО «Маяк», начиная с момента пуска основных радиационно опасных предприятий [Development, 1997]. По мере развития исследований по отдельным направлениям удастся получить значимые результаты. В качестве примера использования регистра можно привести результаты эпидемиологического исследования по оценке риска заболеваемости раком щитовидной железы среди лиц, объединенных в Детском регистре [Ильин и др., 2003].

Для жителей бассейна р. Теча и Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРС) были разработаны Методические указания [Методические, 1995], которые позволяют для наиболее загрязненных населенных пунктов (40 населенных пунктов) оценить дозы облучения для трех наиболее характерных групп населения. Это позволило расширить Уральский регистр, а опыт оценки дозовых оценок для жителей населенных пунктов затем широко применялся при изучении последствий аварии на Чернобыльской АЭС.

### **Чернобыльский регистр**

Авария на 4-ом блоке Чернобыльской АЭС (26 апреля 1986 г.) инициировала создание наиболее крупного радиационно-эпидемиологического регистра в СССР.

В июне 1986 г. Министерством здравоохранения СССР была принята крупномасштабная программа по созданию в стране Всесоюзного распределённого регистра лиц, подвергшихся

радиационному воздействию в результате аварии на ЧАЭС (ВРР). Головной организацией по созданию и ведению регистра был назначен Научно-исследовательский институт медицинской радиологии АМН СССР в г. Обнинске (в настоящее время — МРНЦ им. А.Ф. Цыба — филиал ФГБУ «НМИРЦ» Минздрава России).

Перед этим регистром стояли две основные задачи: во-первых, оценка медицинских последствий катастрофы с целью выработки оптимальной стратегии по их смягчению; во-вторых, организация многолетних эпидемиологических исследований, ориентированных, прежде всего, на определение фактических радиационных рисков.

В создание ВРР были вовлечены все республики бывшего Советского Союза, большое число научных и практических учреждений [Цыб и др., 1989]. К декабрю 1991 г. (моменту распада СССР) база данных регистра включала персональную медицинскую и дозиметрическую информацию на 659292 человека, в том числе на 284919 — участников ликвидации последствий катастрофы (ликвидаторов) [Иванов и др., 1999].

После распада СССР, в начале 1992 г. ВРР был преобразован в Российский государственный медико-дозиметрический регистр (РГМДР). В 1994 г. с целью реализации Постановления Правительства Российской Федерации от 22.09.1993 № 948 «О государственной регистрации лиц, пострадавших от радиационного воздействия и подвергшихся радиационному облучению в результате чернобыльской и других радиационных катастроф и инцидентов» на базе научных подразделений МРНЦ РАМН, обеспечивающих функционирование РГМДР, был образован Национальный радиационно-эпидемиологический регистр (НРЭР).

В 1995 г. головной организации регистра — радиационно-эпидемиологическому сектору МРНЦ РАМН — был присвоен статус Сотрудничающего центра Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) по исследовательской работе и подготовке кадров в области радиационной эпидемиологии в целях развития научных и прикладных исследований в данной области.

Весь контингент зарегистрированных в Регистре лиц разделён на 4 группы наблюдения (первичного учёта):

- 1 группа — лица, принимавшие участие в ликвидации аварии и её последствий (ликвидаторы).
- 2 группа — лица, эвакуированные (в том числе добровольно выехавшие) в 1986 г. из зоны отчуждения, включая детей, в том числе детей, которые на момент эвакуации находились в состоянии внутриутробного развития.
- 3 группа — лица, проживающие на наблюдаемых территориях (зона отселения и зона с правом на отселение) или проживавшие там после аварии (и впоследствии переехавшие в другую местность) и включённые в систему РГМДР.
- 4 группа — дети, родившиеся от лиц 1 группы первичного учёта, участвовавших в ликвидации последствий аварии в 1986-87 годах.

Регистр включает в себя две основных составляющих: дозиметрические данные, приписанные каждому человеку, и объективную информацию о состоянии здоровья индивида. Получение и тех и других данных является сложной научной задачей, решаемой в зависимости от контингента с помощью специально разработанных методик.

Так, например, для систематического описания дозиметрического контроля участников ЛПА на Чернобыльской АЭС и качества дозиметрических данных была приведена классификация всей совокупности ликвидаторов на более однородные группы. Выделены следующие группы («контингенты») участников ликвидации последствий аварии (таблица 2.1) [Крючков и др., 2011].

Таблица 2.1 - Контингенты участников ЛПА на Чернобыльской АЭС [Крючков и др., 2011]

Контингент и его численность*	Определение контингента ликвидаторов
1. Свидетели и жертвы аварии, около 2000 человек	Персонал ЧАЭС и персонал некоторых других организаций (пожарные, строители пятого и шестого энергоблоков, персонал МСЧ-126), находившиеся с момента аварии на станции или приехавшие на ЧАЭС до 30 апреля 1986 г.
2. Ранние ликвидаторы, около 21600 человек	Гражданские ликвидаторы (кроме персонала УС-605), работавшие в 30-км зоне (включая промплощадку ЧАЭС) с 27 апреля по 31 мая 1986 г.
3. Персонал ЧАЭС, 2358 человек в 1986 г., 4498 человек в 1987 г.	Персонал ЧАЭС, работавший с 1 мая 1986 г. на консервации, подготовке к пуску и эксплуатации первого, второго и третьего энергоблоков ЧАЭС
4. Командированные на ЧАЭС, около 2000 человек в 1986 г., 3458 человек в 1987 г.	Персонал других АЭС и других предприятий, откомандированный на ЧАЭС в помощь её персоналу
5. Военные ликвидаторы, 61762 человек в 1986 г., 63751 человек в 1987 г.	Кадровые военные, солдаты срочной службы и призванные из запаса гражданские лица, осуществлявшие работы по радиационной разведке, дезактивации, включая четвертый энергоблок и крыши, и другие работы в 30-км зоне
6. Командированные в 30-км зону (вспомогательный персонал), 31021 человек в 1986г.; 31885 человек в 1987 г.	Все гражданские ликвидаторы, выполнявшие различные работы в 30-км зоне за пределами промплощадки ЧАЭС и приступившие к работам по ЛПА не ранее 1 июня 1986 г.; строители Минэнерго (включая УС ЧАЭС), работавшие в 4- и 30-км зоне вокруг ЧАЭС
7. Персонал ПО «Комбинат», 6281 человек в 1987 г.	Персонал ПО «Комбинат», проводивший на постоянной основе различные работы в 30-км зоне и координировавший деятельность «командированных в 30-км зону» начиная с 1987 г. и последующие годы
8. Персонал УС-605, 21500 человек в 1986 г., 5376 человек в 1987 г.	Строители объекта «Укрытие»
9. Персонал Комплексной экспедиции (КЭ), 3521 человек в 1988 г.	Персонал Института атомной энергии им. И.В. Курчатова, изучавший состояние топливных масс внутри четвёртого энергоблока. Существовал с 1986 г. В 1988 г. образовалась как самостоятельное структурное подразделение. Персонал других организаций, осуществлявший различные работы внутри объекта «Укрытие»
10. Персонал объекта «Укрытие», несколько сот человек в 1990 г.	Персонал предприятия «Объект «Укрытие»» наблюдавший за состоянием объекта «Укрытие»
11. Белорусские ликвидаторы, около 24 000 человек в 1986 г., около 28 000 человек в 1987 г.	Белорусские гражданские ликвидаторы, работавшие в белорусской части 30-км зоны

Примечание: \* - числовые значения ликвидаторов заимствованы нами из различных источников [5, 18]<sup>4</sup>, и нельзя гарантировать их абсолютную точность. Однако они позволяют оценить в целом численность участников ЛПА и представить масштабность выполненных работ. Кроме того, необходимо иметь в виду, что в ЛПА принимали участие медицинский персонал, командированный из медико-санитарных частей 3-го Главного управления Минздрава СССР, а также большое число ученых и специалистов из различных городов СССР и научных учреждений. Наиболее значительные группы ученых были направлены из ИАЭ им. И.В. Курчатова, ВНИИИМ им. акад. А.А. Бочвара, ИБФ МЗ СССР, СНИИП, НИФХИ им Л.Я. Карпова, других институтов АН СССР, АН УССР, Госгидромета, Метрологической службы СССР.

<sup>4</sup> 5. Ильин Л.А., Крючков В.П., Осанов Д.П., Павлов Д.П. Уровни облучения участников ЛПА на ЧАЭС в 1986-1987 гг. и верификация дозиметрических данных. //Радиационная биология. Радиоэкология, 1995, Т. 35, № 6, С. 803-828.  
18. Крючков В.П., Кочетков О.А., Цовьянов А.Г., Симаков А.В., Кухта Б.А., Панфилов А.П., Тимофеев Л.В., Мазурик В.К., Голованов И.А., Чижов К.А. Авария на ЧАЭС: дозы облучения ликвидаторов, аварийный контроль, ретроспективная оценка. – М., 2011.

Сложнейшей составляющей медико-организационных мероприятий, проводимых на региональном уровне Регистра, является обеспечение полной и объективной информации о состоянии здоровья декретированного приказом Минздрава РФ № 281 от 26.11.1993 г. контингента. Кроме того, должна проводиться специализированная диспансеризация лиц, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС, порядок которой определяется приказами МЗ РФ № 171 от 26.07.1993 г. и № 293 от 03.10.1997 г.

В конце апреля 2005 года учеными двух стран создан Единый белорусско-российский государственный регистр лиц, пострадавших от аварии на ЧАЭС. Единый документ стал закономерным итогом научно-исследовательской работы ученых двух стран, проводимой в рамках «Программы совместной деятельности по преодолению последствий чернобыльской катастрофы в рамках Союзного государства на 2002–2005 годы». «Создание Единого российско-белорусского чернобыльского регистра явилось важной вехой на пути совместных исследований в области радиационной защиты и лечения пострадавшего населения Беларуси и Российской Федерации» [Программа, 1998; Программа 2002; программа, 2006; Программа, 2013]. Этот новый инструментарий позволит усилить статистическую достоверность и значительно увеличит результативность проводимых исследований, даст возможность более быстро получать конкретные результаты для стратегических управленческих решений правительствам и заинтересованным ведомствам двух стран в рамках Союзного государства.

На 1 марта 2011 г. в Российском Регистре было зарегистрировано 701397 человек из числа пострадавших от радиационного воздействия и подвергшихся радиационному облучению в результате чернобыльской аварии [Российский, 2011]. При этом чернобыльский регистр включал **507 064** жителей РФ, из них:

- 7 508 эвакуированных;
- 17 677 отселенных;
- 443 021 проживающих на «загрязненных территориях»;
- 38 858 детей ликвидаторов.

Всего же в НРЭР зарегистрировано более 797 тыс. человек, подвергшихся радиационному облучению в результате аварии на Чернобыльской АЭС, аварии в 1957 г. на ПО «Маяк», ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне.

#### **Единая система контроля и учёта индивидуальных доз облучения граждан**

Единая система контроля и учёта индивидуальных доз облучения граждан (ЕСКИД) является частью подсистемы Минздрава России в рамках Единой Государственной Автоматизированной Системы Контроля Радиационной Обстановки (ЕГАСКРО). Положение и структура ЕСКИД регламентируется приказом Министерства здравоохранения № 298 от 31.07.2000, разработанным с целью реализации статьи 18 Федерального закона "О радиационной безопасности населения" от 9.01.96 № 3-ФЗ, а также во исполнение постановления Правительства Российской Федерации от 16.06.97 № 718 "О порядке создания единой государственной системы контроля и учёта индивидуальных доз облучения граждан".

Функционально ЕСКИД представляет собой совокупность федеральной, региональной и ведомственных систем контроля и учёта индивидуальных доз облучения граждан, сопряжённых через федеральные банки данных с Национальным радиационно-эпидемиологическим регистром.

Федеральный уровень ЕСКИД включает: — Минздрав России и созданный при нем совет по дозам облучения граждан; — федеральные банки данных (ФБД) по индивидуальным дозам облучения граждан. Федеральные банки данных ЕСКИД учреждены на основании приказа Минздрава России № 333 от 01.11.2002. Положение о Федеральных банках, их структура и порядок функционирования регламентируются приказом Министерства здравоохранения № 268 от 21.06.2003. В состав ЕСКИД входят 3 ФБД по направлениям и ФБД РГМДР:

- ФБД по индивидуальным дозам облучения граждан, создаваемым естественным и техногенно изменённым радиационным фоном (ФБД ОПИ);
- ФБД по индивидуальным дозам облучения граждан при проведении медицинских диагностических рентгенорадиологических процедур (ФБДМ);
- ФБД по индивидуальным дозам облучения персонала организаций и населения на территориях, подконтрольных Федеральному управлению "Медбиоэкстрем" (ФБД ДОП);
- ФБД по индивидуальным дозам облучения персонала предприятий, подконтрольных Департаменту госсанэпиднадзора (ФБД ДОП);
- ФБД РГМДР данные по индивидуальным дозам облучения граждан, получаемым при радиационных авариях, обобщенная информация и централизованный учет доз облучения, включенных в перечисленные выше ФБД.

Информация на региональном уровне готовится по Форме федерального государственного статистического наблюдения №4-ДОЗ "Сведения о дозах облучения населения за счёт естественного и техногенно изменённого радиационного фона", утверждённой постановлением Госкомстата России от 21.09.2006 г. № 51. Заполнение форм отчётности осуществляется в соответствии с Методическими рекомендациями (Инструкцией по заполнению формы № 4-ДОЗ) "Форма федерального государственного статистического наблюдения №4-ДОЗ" (Утверждены Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучию человека 19 апреля 2007 г. №0100/4027-07-34, Москва, 2007 г.) и в форматах, обеспечиваемых программами ФФ-4 и РБД-Ф4. Информация, прошедшая контроль, передаётся с регионального уровня в федеральный банк данных ФГУН НИИРГ. ФГУН НИИРГ проводит анализ и обобщение данных, поступивших с регионального уровня, и передаёт результаты обобщения в НРЭР.

ФБД по индивидуальным дозам облучения граждан, создаваемым медицинским облучением (ФБДМ), включает объектовый, региональный и федеральный уровни. Объектовый уровень включает банки (ОБДМ), формируемые в медицинских учреждениях, проводящих диагностические исследования с применением медицинских диагностических рентгенорадиологических процедур. Полученные сведения передаются на региональный уровень в РБДМ, которые формируются в центрах госсанэпиднадзора субъектов РФ. С регионального уровня подготовленная соответствующим образом информация передаётся в Федеральный банк ФГУН НИИРГ. Информация на объектовом уровне готовится по форме федерального государственного статистического наблюдения № 3-ДОЗ "Сведения о дозах облучения пациентов при проведении медицинских рентгенорадиологических исследований", утверждённой постановлением Госкомстата России № 51 от 21.09.2006. Заполнение формы № 3-ДОЗ осуществляется в соответствии с методическими рекомендациями "Заполнение форм федерального государственного статистического наблюдения №3-ДОЗ", утверждёнными Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучию человека 16 февраля 2007 г. № 0100/1659-07-26, Роспотребнадзор, Москва, 2007 г. и в форматах, обеспечиваемых программами ФФ-3 и Ф3-РНИ. Форма № 3-ДОЗ на бумажном носителе (с подписями и печатью организации), а также специальный файл "файл передачи" на магнитном носителе передаются в региональные банки данных (РБДМ). Для приёма информации от объектовых банков данных на региональном уровне используется программа РБД-Ф3, которая позволяет проконтролировать и обобщить поступившую информацию на уровне региона. С регионального уровня информация передаётся в федеральный банк данных ФГУН НИИРГ. ФГУН НИИРГ проводит анализ и обобщение данных, поступивших с регионального уровня, и передаёт результаты обобщения в НРЭР.

ФБД по дозам облучения персонала (ФБД ДОП) включает объектовый, региональный и федеральный уровни. Организации, подконтрольные Департаменту госсанэпиднадзора, в которых производятся работы с источниками ионизирующих излучений, представляют информацию по форме федерального государственного статистического наблюдения № 1-ДОЗ "Сведения о дозах облучения лиц из персонала в условиях нормальной эксплуатации техногенных источников ионизирующих излучений", утверждённой постановлением Госкомстата России от 18.11.2005 №

84. Заполнение формы № 1-ДОЗ осуществляется в соответствии с методическими рекомендациями "Заполнение форм федерального государственного статистического наблюдения №1-ДОЗ", утверждёнными Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучию человека 28 апреля 2007 г. № 0100/4484-07-34, Роспотребнадзор, Москва, 2007 г. и в форматах, обеспечиваемых программой ФФ-12. Форма № 1-ДОЗ на бумажном носителе (с подписями и печатью организации), а также специальный файл "файл передачи" на магнитном носителе передаются в региональные банки данных (РБДМ). Для приёма информации от объектов банков данных на региональном уровне используется программа РБД-Ф12, которая позволяет проконтролировать и обобщить поступившую информацию на уровне региона. С регионального уровня информация передаётся в Федеральный центр Госсанэпиднадзора, который, в свою очередь, контролирует правильность представления данных, обобщает сведения по регионам РФ и передаёт эту информацию для дальнейшего обобщения в Федеральный банк данных ФГУН НИИРГ. После анализа полученной информации ФГУН НИИРГ во взаимодействии с Федеральным центром госсанэпиднадзора представляет результаты анализа данных в Министерство здравоохранения и обобщённые после проведения соответствующего контроля данные — в НРЭР.

По наиболее значимым ФБД выпускаются сборники обобщённых данных, дающих представление об уровнях облучения населения, проживающего в различных регионах страны и занятых на производстве с использованием источников ионизирующей радиации.

Такие сборники данных по дозам облучения населения, как радиационно-гигиенические паспорта территорий субъектов Российской Федерации и всей страны, будут рассмотрены ниже. В качестве примера обобщения данных по отдельной ФБД рассмотрим банк данных индивидуальных доз облучения персонала организаций и населения на территориях, обслуживаемых ФМБА России и Минобороны России [Цовьянов и др., 2012].

База данных по профессиональному внешнему и внутреннему облучению персонала по различным ведомствам охватывала, например, в 2010 г. 98901 работника (таблица 2.2).

Более детально представлены данные по работникам Госкорпорации «Росатом» (таблица 2.3).

Как видно из таблиц 2.2 и 2.3, средние эффективные дозы облучения персонала во всех рассматриваемых ведомствах и учреждениях ниже 2 мЗв/год. Такое соотношение средних величин дозовых нагрузок и установленного предела (в данном случае 20 мЗв/год) достаточно типично. Так авторы Публикации МКРЗ № 27 полагают, что работа, связанная с облучением, может быть приравнена к профессиям, которые в обществе признаются безопасными, если "средняя годовая эффективная эквивалентная доза равна 0,6 бэр (6 мЗв)" [ICRP, 1977]. Эта средняя доза, как заявляют авторы Публикации, ссылаясь на Доклад НКДАР ООН Генеральной Ассамблее 1977 г. [UNSCEAR, 1977], создаётся при условии, что предельно допустимая доза не превышает 5 бэр в год (50 мЗв/год).



Таблица 2.2 - Данные по профессиональному внешнему и внутреннему облучению персонала по ведомствам с учетом нулевых значений индивидуальных доз за 2010 г.

№	Название ведомства	Численность персонала на ИДК, чел.	Число нулевых значений доз, чел.	Мода, мЗв	Медиана, мЗв	Среднее, мЗв	СКО*, мЗв	Квантиль, мЗв	
								5%	95%
1	Госкорпорация «Росатом»	80584	9086	0,00	0,79	1,65	2,55	0,00	6,60
2	ФМБА России	2583	142	0,01	0,62	0,76	0,87	0,00	2,07
3	Управление судостроительной промышленности	4627	17	0,80	1,00	1,69	1,92	0,15	5,50
4	Российская академия наук, Роснаука	2593	8	0,30	1,09	1,49	2,15	0,15	5,00
5	ФКА (Роскосмос)	606	3	0,20	0,59	0,87	0,85	0,13	2,30
6	МО РФ	533	5	0,20	0,68	1,00	1,32	0,17	2,40
7	Прочие	7375	1354	0,00	0,74	1,55	2,56	0,00	6,45
Все предприятия		98901	10615	0,00	0,8	1,60	2,48	0,00	6,33

Примечание: \* - среднее квадратическое отклонение.

Таблица 2.3 - Данные по профессиональному внешнему и внутреннему облучению ГК «Росатом» по структурным подразделениям с учетом нулевых значений индивидуальных доз за 2010 г.

№	Название ведомства	Численность персонала на ИДК, чел.	Число нулевых значений доз, чел.	Мода, мЗв	Медиана, мЗв	Среднее, мЗв	СКО*, мЗв	Квантиль, мЗв	
								5%	95%
1	Предприятия ядерного энергетического комплекса	60216	8580	0	0,70	1,64	2,74	0	7,35
2	Предприятия ядерно-оружейного комплекса	4779	196	0	0,91	1,52	1,37	0,05	3,83
3	Атомфлот	805	31	0	0,33	0,66	1,12	0,01	2,47
4	Учреждения атомной науки и техники	553	26	0	0,94	1,29	0,95	0,02	3,01
5	Ядерная и радиационная безопасность	13735	171	0,04	1,25	1,87	2,03	0,04	5,53
6	«Прочие» предприятия ГК «Росатом»	496	82	0	0,23	0,80	1,20	0,00	2,74
ИТОГО по ГК «Росатом»		80584	9086	0	0,79	1,65	2,55	0	6,60

Примечание: \* - среднее квадратическое отклонение.

Для персонала российских АЭС данные по профессиональному внешнему и внутреннему облучению приведены в таблице 2.4. Эти же данные в более агрегированном виде представлены в таблице 2.5.

Таблица 2.4 - Данные по профессиональному внешнему и внутреннему облучению на АЭС с учетом нулевых значений индивидуальных доз за 2010 г.

№	Название предприятия	Численность персонала на ИДК, чел.	Число нулевых значений доз, чел.	Мода, мЗв	Медиана, мЗв	Среднее, мЗв	СКО*, мЗв	Квантиль, мЗв	
								5%	95%
1	Балаковская АЭС	3593	1322	0	0,05	0,76	1,86	0	4,60
2	Белоярская АЭС	1289	593	0	0,06	0,85	1,88	0	4,69
3	Билибинская АЭС	763	38	0	1,40	3,49	4,46	0,10	14,10
4	Ростовская АЭС	3057	1593	0	0	0,11	0,31	0	0,66
5	Калининская АЭС	3435	1713	0	0,01	0,56	1,55	0	2,95
6	Кольская АЭС	2457	1052	0	0,05	1,17	2,70	0	7,34
7	Курская АЭС	5019	364	0	0,94	2,18	3,22	0	9,60
8	Ленинградская АЭС	6665	908	0	0,45	1,61	2,95	0	8,00
9	Нововоронежская АЭС	3026	196	0	0,30	1,25	2,33	0	6,27
10	Смоленская АЭС	3041	168	0	0,97	2,60	4,08	0	13,25
Все АЭС		32345	7947	0	0,30	1,39	2,81	0	7,32

Примечание: \* - среднее квадратическое отклонение.

Таблица 2.5 - Данные по профессиональному внешнему и внутреннему облучению на АЭС по типам реакторов с учетом нулевых значений индивидуальных доз за 2010 г.

№	Тип реактора, АЭС	Числ-ть персонала на ИДК, чел.	Число нулевых значений доз, чел.	Мода, мЗв	Медиана, мЗв	Среднее, мЗв	СКО*, мЗв	Квантиль, мЗв	
								5%	95%
1	БН (Белоярская АЭС)	1289	593	0	0,06	0,85	1,88	0	4,69
2	ВВЭР (Балаковская, Калининская, Кольская, Нововоронежская, Ростовская АЭС)	15568	5876	0	0,05	0,75	1,93	0	4,26
3	РБМК (Смоленская, Ленинградская, Курская АЭС)	14725	1440	0	0,74	2,01	3,32	0	9,68
4	ЭГП (Билибинская АЭС)	763	38	0	1,40	3,49	4,46	0,10	14,10

Примечание: \* - среднее квадратическое отклонение.

В этом же справочном издании представлены данные по профессиям. Так для реакторов РБМК весь персонал разбит на 184 профессиональные группы и даются данные по численности этих групп и средней эффективной дозе за 2010 год. Максимальные эффективные дозы облучения получали в 2010 г. дефектоскописты по магнитному и ультразвуковому контролю — 16,14 мЗв (всего 16 работников), при допустимой дозе 20 мЗв/год.

Обобщенные данные в динамике по работникам Госкорпорации «Росатом» представляются в Отчетах по безопасности Госкорпорации. На рисунке 2.1 представлена динамика среднегодовых и коллективных доз облучения персонала группы А Госкорпорации Росатом [Отчет, 2015].



Рисунок 2.1 – Динамика среднегодовых и коллективных доз облучения персонала группы А Госкорпорации Росатом

Обобщенные данные по дозам облучения всего населения от всех действующих факторов публикуются как радиационно-гигиенические паспорта территорий субъектов Российской Федерации и всей страны.

## 2.2 Радиационно-гигиенические паспорта территорий и организаций

Система радиационно-гигиенической паспортизации начала функционировать благодаря Федеральному закону "О радиационной безопасности населения" (Собрание законодательства Российской Федерации, 1996, N 3, ст. 141). Статьей 13 этого закона было определено, что результаты оценки состояния радиационной безопасности ежегодно заносятся в радиационно-гигиенические паспорта организаций и территорий.

В 1997 году порядок разработки радиационно-гигиенических паспортов организаций, территорий был определен Правительством России [Постановление, 1997] и действует до настоящего времени в редакции Постановления Правительства РФ от 10.07.2014 N 639.

Порядком было предусмотрено, что ведение радиационно-гигиенического паспорта организаций, использующих источники ионизирующего излучения, должно было осуществляться в установленном порядке органами управления этих организаций, а ведение радиационно-гигиенического паспорта территорий должно было осуществляться органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации. Постановление Правительства РФ определяло объем и порядок ведения паспортов.

В соответствии с Постановлением радиационно-гигиенические паспорта организаций и территорий должны включать:

- оценку радиационной безопасности населения (персонала);
- информацию о территориях и группах риска населения (персонала), подверженных повышенным уровням воздействия ионизирующего излучения;
- прогноз радиационной ситуации в организациях, использующих источники ионизирующих излучений, и на территориях;

- рекомендации, необходимые для планирования, проведения мероприятий и принятия решений, связанных с обеспечением радиационной безопасности населения (персонала);
- анализ эффективности проводимых мероприятий, связанных с обеспечением радиационной безопасности населения (персонала);
- информацию, необходимую для принятия решений органами управления.

Радиационно-гигиенические паспорта организаций и территорий представляются на заключение в учреждения Государственной санитарно-эпидемиологической службы Российской Федерации. На их основе выпускается радиационно-гигиенический паспорт Российской Федерации, который позволяет оценивать радиационную ситуацию в целом по стране и отслеживать характерные тенденции в динамике отдельных параметров.

Иерархичная, основанная на интеграции региональных и ведомственных документов процедура подготовки итоговых документов заранее предопределяла, что процесс потребует многих лет отладки. Для первых пяти лет функционирования системы паспортизации были характерны достаточно частые огрехи, связанные с тем, что в ряде субъектов РФ паспорта не составлялись, а в большинстве других при их составлении допускались ошибки, в результате которых данные радиационно-гигиенического паспорта не могут быть разумно объяснены.

Достаточно привести два примера:

1. Радиационно-гигиенический паспорт Российской Федерации за 2002 год. Согласно этому документу (стр. 40):
  - «годовая эффективная коллективная доза населения» за счет нормальной деятельности предприятий, использующих ИИИ, уменьшилась с 556 чел·Зв в 2001 г. до 375,5 чел·Зв в 2002 г.
  - «годовая эффективная коллективная доза населения» за счет глобальных выпадений и прошлых радиационных аварий уменьшилась с 3813 чел·Зв в 2001 г. до 1616 чел·Зв в 2002 г.
  - «годовая эффективная коллективная доза населения» за счет природных источников увеличилась с 328 315 чел·Зв в 2001 г. до 380 261 чел·Зв в 2002 г.

Отсутствие выраженных процессов сворачивания ядерной деятельности, стабильность особенностей радиационной обстановки, связанной с прошлыми авариями и глобальными выпадениями, и отсутствие глобальных явлений, которые привели бы к резкому изменению естественного фона, позволяют утверждать, что приведенные в паспорте данные требуют критичного отношения – они не столько отражают действительность, сколько изменение подходов в оценках.

2. В последующие годы количество таких грубых технических и методических ошибок стало уменьшаться. Наиболее точно ситуацию с качеством радиационно гигиенической паспортизации характеризует фрагмент текста из приложения 2 к радиационно-гигиеническому паспорту Российской Федерации за 2008 год, посвященного паспортизации в Вооруженных силах РФ:

*«Качество составления радиационно-гигиенических паспортов во многих воинских частях улучшилось, аналитические справки видов Вооруженных Сил, родов войск, военных округов и флотов стали более объективно отражать состояние радиационной безопасности в войсках. В этих документах стало появляться больше критических замечаний с указанием конкретных дефектов в организации обеспечения радиационной безопасности и предложений по ее совершенствованию.*

*В то же время в радиационно-гигиенических паспортах и аналитических справках встречаются недостатки и упущения. К наиболее серьезным из них относятся: недостоверные данные о численности персонала и дозах его облучения; опечатки и ошибки в вычислениях средних индивидуальных и коллективных доз облучения персонала, приводящие к неправильным расчетам рисков стохастических эффектов; несвоевременное представление паспортов в санитарно-*

эпидемиологические учреждения; формальное отношение к подготовке радиационно-гигиенических паспортов, выражающееся в переписывании во вновь оформляемые паспорта прошлогодних сведений; неполное оформление аналитических справок с включением сведений только о состоянии радиационной безопасности на объектах военно-медицинских частей и учреждений.

При подготовке настоящей Справки явные ошибки и неверные данные либо по возможности исправлялись с помощью сведений из других источников, либо в документ не включались».

С годами, главным образом, благодаря постоянным усилиям специалистов СПб НИИРГ им. П.В. Рамзаева, система подготовки радиационно-гигиенических паспортов Российской Федерации совершенствовалась, а сами паспорта становились все более понятными, в том числе по динамике показателей уровней обеспечения радиационной безопасности во времени. Однако и в настоящее время многие временные ряды, представляемые в паспорте, требуют особо внимательного отношения.

Рассмотрим основные разделы радиационно-гигиенического паспорта Российской Федерации и/или субъекта Российской Федерации с точки зрения ценности представленной в ней информации для целей организации работ по оценке экологических аспектов деятельности предприятия в части радиационного воздействия и обоснования допустимости существующих уровней воздействия.

#### **Раздел 1.** Число организаций, использующих техногенные источники.

К данным раздела, особенно по количеству организаций, эксплуатирующих объекты первой категории опасности, следует относиться очень внимательно. Например, в паспорте за 2008 год (таблица 2.6) они учтены не в полной мере. Аналогична ситуация и с данными по видам организаций и типам установок, где, по-видимому, есть существенная неопределенность в понятийном аппарате и его трактовках. Наибольшее основание для таких доводов дают таблицы 1.3 и 1.4 документа [Результаты, 2009] в части количества и местонахождения энергетических и промышленных ядерных реакторов.

Таблица 2.6 - Фрагмент паспорта за 2008 год – «Таблица 1.1. Общее количество организаций, осуществлявших деятельность с использованием ИИИ на территории Российской Федерации в 2008 г.» [Результаты, 2009]

N п/п	Виды организаций	Число организаций данного вида				
		всего	в том числе по категориям			
			I	II	III	IV
1	Атомные электростанции	10	10			
2	Геологоразведочные и добывающие	209		1	78	130
3	Медучреждения	12364			109	12255
4	Научные и учебные	502	4	4	43	451
5	Промышленные	2824	4	4	449	2367
6	Таможенные	174			11	163
7	Пункты захоронения РАО	21		15	4	2
8	Прочие особо радиационно опасные	47	12	21	5	9
9	Прочие	947	10		47	890
ВСЕГО:		17098	40	45	746	16267

Данные по медицинским учреждениям представляются более достоверными, как и суждения о тенденциях их изменения. Например, сравнение данных радиационно-гигиенических паспортов в субъектах РФ, например, за 2008 и 2013 годы позволяет отметить, что: общее количество организаций, осуществляющих деятельность с использованием ИИИ, выросло за 5 лет с 17098 до 19256. В основном рост произошел за счет медицинских учреждений, число которых выросло с 12364 до 14483.

**Раздел 2.** Общая характеристика организаций, использующих техногенные источники ионизирующего излучения

Сводная таблица по общей численности персонала в организациях в определенной мере отражает недоразумения с классификационными признаками, вследствие которых когорта персонала организаций Госкорпорации «Росатом» оказывается размытой по нескольким группам организаций (1, 4, 5, 7 и 8 в таблице 2.6) (таблица 2.7).

Общие выводы, представляемые по изменению количества персонала групп А и Б, также скорее являются следствием изменения порядка ведения учета в отдельных организациях, чем отражением общих тенденций. Однако общие выводы о росте персонала представляются правильными. Так в паспорте за 2008 год указывалось на годовой рост персонала. Этот процесс продолжился и в последующие годы. За период 2008-2013 годы численность персонала в соответствующих организациях выросла с 241212 до 252123 человек, при чем заметно подросла численность персонала группы А с 152744 до 178311 человек.

Таблица 2.7 - Фрагмент паспорта за 2008 год – «Таблица 2.1. Общая численность персонала в организациях Российской Федерации, использовавших техногенные источники ионизирующего излучения в 2008 г.» [Результаты, 2009]

N п/п	Виды организаций	Персонал, чел.		
		Всего	в том числе по группам	
			группа А	группа Б
1	Атомные электростанции	44103	25888	18215
2	Геологоразведочные и добывающие	4889	4545	344
3	Медучреждения	73981	66860	7121
4	Научные и учебные	15797	10909	4888
5	Промышленные	43833	25918	17915
6	Таможенные	3585	3407	178
7	Пункты захоронения РАО	2532	1373	1159
8	Прочие особо радиационно-опасные	44885	7528	37357
9	Прочие	7607	6316	1291
Всего по России:		241212	152744	88468

**Раздел 3.** Характеристика радиоактивного загрязнения окружающей среды.

Вообще о радиоактивном загрязнении окружающей среды речь идет в разделах 3, 4 и в Приложениях. В них дается обобщенная характеристика радиоактивного загрязнения окружающей среды. В части загрязнения почвенного покрова и атмосферного воздуха эта информация в более общем виде (по субъектам РФ) коррелирует с данными Ежегодников, которые подготавливает Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (см., например, [Радиационная, 2010]). Как известно, природные источники ионизирующего излучения вносят наибольший вклад в дозу облучения населения, который в

зависимости от региона составляет от 68 до 92 % [Результаты, 2014]. Как правило, содержание этих разделов отличается стабильностью во времени и дает ясную картину ряда источников радиоактивного загрязнения – глобальные выпадения, определившие фоновые значения загрязнения такими радионуклидами, как цезий-137 и стронций 90, радиационные аварии – Чернобыль, Южный Урал, отдельные испытания ядерного оружия. Важно отметить, что в разрезе субъектов РФ все данные по повышенным значениям относятся к достаточно небольшим в процентном отношении участкам территории.

За исключением этих территорий на всех остальных регионах картина радиоактивного загрязнения окружающей среды представляется вполне благополучной. С содержанием природных радионуклидов, в том числе в питьевой воде, в нескольких субъектах РФ характеризуется случаями превышения уровней вмешательства или уровней предварительной оценки. В подавляющем большинстве это связано с региональными особенностями.

В целом на основании этих разделов паспорта можно утверждать о стабильной работе предприятий атомной энергетики и промышленности. Еще большие основания дают материалы приложения 1 к паспорту, в котором представлены уровни содержания радионуклидов в воздухе территорий санитарно-защитных зон и зон наблюдения крупных промышленных предприятий, контроль которых осуществляется организациями ФМБА России. Практически по всем предприятиям картина более чем благополучная. Уровни активности радионуклидов стабильно низки, а соотношения средних и максимальных значений практически не отличаются. Исключение составляет только г. Озерск, где уровни содержания находятся в допустимых пределах, но существенно выше, чем в других регионах. Отметим, что значимый вклад в этот показатель дает вторичный ветровой подъем активности с загрязненных территорий.

Данные по удельной активности радионуклидов в пищевых продуктах местного производства находятся в полном соответствии с данными по загрязнению окружающей среды, особенностями их миграции и накопления и особенностями установления предельно допустимых значений. Превышения ПДК по цезию-137 по основным продуктам фиксируются только в Брянской области, а по остальным регионам только по грибам и дикорастущим ягодам<sup>5</sup>. По остальным радионуклидам ситуация еще более благополучна.

Для правильной интерпретации данных по радиационной обстановке принципиально важны данные раздела 3.5 паспорта, содержащего характеристики природных источников ионизирующего излучения. Этот раздел представляется содержательным и в то же время сложным, поскольку облучение населения природными источниками ионизирующего излучения формируется во многом за счет природных радионуклидов, содержащихся в среде обитания людей (воздух, почва, строительные материалы и прочее), и пока еще вносит наибольший вклад в общую дозу облучения населения (от 70 до 98%).

По данным радиационно-гигиенических паспортов территорий средняя эквивалентная равновесная объемная активность изотопов радона (ЭРОА радона) в жилых и общественных зданиях за 2008 год варьировала в диапазоне от 6 Бк/м<sup>3</sup> (Рязанская область, Республика Коми) до 133 Бк/м<sup>3</sup> (Республика Алтай, деревянные одноэтажные здания). Наибольшие значения средних по субъекту РФ значений ЭРОА радона отмечены в Республике Алтай (69 Бк/м<sup>3</sup>), Красноярском крае (62 Бк/м<sup>3</sup>), Республике Адыгея (58 Бк/м<sup>3</sup>) и Калужской области (50 Бк/м<sup>3</sup>). В паспортах отсутствуют сведения о широте охвата пунктов измерения ЭРОА радона, о вариациях значений концентраций в отдельных регионах, особенно там, где концентрации велики и превышают нормативную величину в 200 Бк/м<sup>3</sup> [НРБ, 2009]. Все это снижает объективность картины по основному (в ряде регионов) дозообразующему фактору облучения населения.

В этом же разделе дается диапазон значений мощности экспозиционной дозы, который характеризует обстановку в регионах РФ. При этом авторы забывают, что этот параметр традиционно измерялся в Рентгенах в час (Р/ч) — внесистемная единица экспозиционной дозы, а в

---

<sup>5</sup> В какой-то мере это определяется и чрезмерно жесткими отечественными нормативами по этим продуктам.

Международной системе единиц (СИ) — в А/кг. Часть современных дозиметрических приборов откалибрована в единицах мощности эффективной дозы гамма-излучения. Видимо, ее и имели в виду авторы, когда вносили в таблицу данные по естественному радиационному фону в пределах значений 0,06-0,18 мкЗв/ч. Такой диапазон мощности эффективной дозы внешнего облучения справедлив для всех регионов РФ, кроме загрязненных районов и районов с аномальным содержанием естественных радионуклидов.

**Раздел 4** паспорта дает характеристику радиационных аномалий и загрязнений. Наибольшее внимание в нем уделяется вновь выявляемым небольшим участкам радиоактивного загрязнения и работам по их дезактивации и рекультивации.

**Раздел 5** паспорта дает структуру облучения населения при медицинских процедурах. Содержание этого раздела чрезвычайно важно — ведь речь идет о компоненте облучения населения, которая в настоящее время становится основной в структуре формирования дозовых нагрузок на население.

Несмотря на то, что данные по облучению населения при проведении медицинских диагностических процедур, как правило, представляются в радиационно-гигиенических паспортах территорий всех 83 субъектов Российской Федерации с населением 143 млн. человек, многие из приводимых оценок и заключений нуждаются в дополнительном анализе. Общее количество медицинских рентгенорадиологических процедур для последнего десятилетия составляет 200-250 млн с тенденцией к увеличению по всем видам кроме рентгеноскопии. При этом наблюдается процесс уменьшения величин средних доз. Иногда даже в течение года происходят радикальные изменения. Например, в 2008 году в сравнении с 2007 годом средняя доза уменьшилась по флюорографии с 0,22 мЗв до 0,11 мЗв на жителя, рентгенографии — с 0,28 мЗв до 0,21 мЗв на жителя. Средняя доза медицинского облучения за этот период уменьшилась с 0,77 до 0,59 мЗв на жителя в год. В качестве объяснения этого может быть воспринят довод о том, что это стало следствием повышения качества контроля и учета доз пациентов, оснащения лечебных учреждений современной низкодозовой рентгеновской аппаратурой в рамках национального проекта "Здоровье" и отдельного учета цифровых и пленочных рентгенодиагностических исследований при учете доз пациентов, как это было описано в паспорте за 2008 год. Однако в паспорте за 2013 год также говорится о снижении средних доз по отдельным процедурам в сравнении с 2012 годом, например по флюорографии с 0,13 мЗв до 0,11 мЗв на жителя. Подобный пример позволяет предположить, что определенную роль в оценках медицинского облучения играют факторы необъективного характера.

Нарастание в разы за последние годы объема процедур компьютерной томографии (КТ) и как следствие значительный рост вклада КТ в дозу медицинского облучения при определенной стабильности основного парка иной диагностической аппаратуры предопределяет неизбежность повышения доз медицинского облучения.

Вне зависимости от правильности данного замечания важен принципиальный вывод, который может быть сделан из анализа содержания этого раздела радиационно-гигиенического паспорта. Если есть необходимость снизить дозы облучения населения, то наиболее легко это сделать за счет медицинского облучения – путем перехода на новую низкодозовую аппаратуру, либо за счет более комплексного использования возможностей таких видов диагностики, как компьютерная томография. При этом отметим, что данные по структуре медицинского облучения по организациям, обслуживаемым ФМБА России, существенно лучше, чем в среднем по России.

Облучение населения при проведении медицинских диагностических рентгенорадиологических процедур, например, за 2013 г. внесло свой вклад в общую дозовую нагрузку в размере 70400 чел.-Зв (или 0,49 мЗв/год на одного жителя России). Если ориентироваться на опыт передовых зарубежных стран, то и количество подобных процедур (1,79 на одного жителя РФ в 2013 г.) и общая дозовая нагрузка в ближайшей перспективе будут расти заметными темпами.

**Раздел 6** паспорта посвящен анализу доз облучения населения, в т.ч. персонала.



Традиционно раздел начинается с исключительно правильной и ценной констатации того, что средние индивидуальные годовые эффективные дозы персонала при использовании атомной энергии во всех субъектах Российской Федерации в текущем году не превышали основные пределы доз, регламентированные Нормами радиационной безопасности (НРБ-99) и Законом Российской Федерации "О радиационной безопасности населения".

Также ежегодно констатируется несколько случаев выявления лиц из числа персонала с повышенными дозами. Как правило, это не более 20 случаев среди персонала группы А (20 мЗв) и не более 20 случаев превышения годовой эффективной дозы 5 мЗв для персонала группы Б. Данные по организациям, обслуживаемым ФМБА России, как правило, отличаются в лучшую сторону от средних по России.

Средние значения доз облучения персонала по РФ в 2011-13 гг. стабилизировались на уровнях: для персонала группы А — 1,2 мЗв/год; для персонала группы Б — 0,3 мЗв/год.

В совокупности данные радиационных паспортов дают примерное представление о специфике формирования индивидуальных и коллективных доз облучения (таблица 2.8).

Таблица 2.8 - Коллективная годовая эффективная доза облучения населения в 2008-2013 гг.

Компонент дозы	Коллективная доза, чел.-Зв (%)					
	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Природные источники излучения	464142 (84,42)	465827 (84,89)	460044 (84,56)	458170 (84,19)	477712 (85,30)	473030 (86,81)
Глобальные выпадения и прошлые аварии	1330 (0,24)	1285 (0,23)	1124 (0,20)	1312 (0,24)	1227 (0,22)	1239 (0,23)
Медицинские рентгенорадиологические исследования	84140 (15,30)	81390 (14,83)	82583 (15,18)	84524 (15,53)	80889 (14,44)	70362 (12,91)
Деятельность предприятий, использующих ИИИ	247 (0,04)	287 (0,05)	254 (0,04)	241 (0,04)	246 (0,04)	247 (0,05)
<b>ВСЕГО:</b>	<b>549858</b>	<b>548789</b>	<b>544005</b>	<b>544247</b>	<b>560074</b>	<b>544877</b>

Значения, приведенные в таблице 2.8, достаточно условны, они оценены сначала для небольших территорий с заметной вариабельностью, а потом просуммированы для более крупных территориальных образований вплоть до размеров всей страны. Несмотря на значительные неопределенности в каждом конкретном значении (радиационно-гигиенические паспорта низшего звена), в своей совокупности они дают общий ориентир для каждой компоненты. При этом достоверность сильной годовой вариабельности отдельных компонент, как уже отмечалось, вызывает сомнение. Так, например, средние годовые дозы облучения отдельного жителя субъекта РФ изменялись в 2013 г. от 2,3 мЗв (Республика Марий Эл) до 8,5 мЗв (Иркутская область), составляя в среднем по стране величину в 3,8 мЗв. Собственно уже разброс приведенных в паспорте средних индивидуальных доз по регионам России дает представление о масштабах неопределенности в оценке дозовых нагрузок на отдельных граждан.

Как уже отмечалось, формирование данных и занесение их в радиационно-гигиенические паспорта идет снизу вверх по нескольким направлениям, согласно разработанным форматам. В отношении территорий субъектов РФ эта работа охватывает все 83 административно-территориальных образования. Начиная с 2013 года, в качестве средних доз природного облучения населения стали использовать значения, усредненные по результатам измерений за период предшествующих 5 лет. Это вызвано, в первую очередь, сокращением прямых достаточно трудоемких измерений на отдельных территориях (так на территориях Кабардино-Балкарской Республики и Магаданской области не было выполнено ни одного измерения концентрации радона за последние 5 лет), а также желанием уменьшить влияние неоправданных колебаний в оценках доз от природного излучения. К сожалению, ни в Постановлении Правительства, ни в разъяснениях Роспотребнадзора не фигурирует требование о последовательном географическом покрытии обследуемых территорий измерениями и соответствующими оценками доз облучения от природных источников. Такая работа позволила бы со временем создать пространственное

распределение основных дозообразующих факторов и выполнить анализ на предмет корреляции этого распределения с развитием жизненных форм, состоянием биоценозов и со здоровьем населения.

Радиационно-гигиеническая паспортизация осуществляется также в рамках нескольких ведомств (таблица 2.9).

Таблица 2.9 - Ведомства, осуществляющие радиационно-гигиеническую паспортизацию

Ведомство	Количество паспортов в 2013 г.	Общая численность персонала			Средние эффективные дозы персонала, мЗв/год	
		всего	категория «А»	категория «Б»	категория «А»	категория «Б»
ФМБА России	532	155021	80081	74940	1,63	0,17
МО РФ	546	11269	8487	2782	0,77	
МВД РФ	159	903	821	82	0,94	
ФСБ	152	845	681	164	0,80	0,18

Следует также отметить, что работа по заполнению паспортов носит достаточно формализованный характер, без сопровождения составленных таблиц не только анализом данных, но и даже какими-либо комментариями. Отсюда, сохраняется большая неопределенность в оценках, вызванная то ли естественной вариабельностью данных, то ли низкой точностью измерений, то ли равнодушным отношением к делу. О формальном характере свидетельствуют сами приведенные в таблицах значения, содержащие 4 значимых цифры (средняя индивидуальная доза облучения населения, например, для Республики Татарстан составляет 3,831 мЗв/год [Результаты, 2014]). Что означает такая точность оценки? Тщательность вычислений? Прецизионную аппаратуру, на которой проводились измерения? Любой эксперт скажет нет. Здесь налицо некая формальная процедура и не более того без должного понимания сути. О формальном характере свидетельствуют и отдельные данные. Так в таблице 2.1 (стр. 99) Радиационно-гигиенического паспорта Российской Федерации [Результаты, 2014] приводятся данные по «Суммарной поверхностной активности радионуклидов в атмосферных выпадениях (осадках) воздуха, Бк/м<sup>2</sup>». Средняя суммарная бета-активность за 2013 год в районах базирования морских судов с ядерными энергетическими установками составила  $1,35 \cdot 10^8$  Бк/м<sup>2</sup> или в понятных для средств массовой информации единицах 3650 Ки/км<sup>2</sup>. Для сравнения при аварии на ЧАЭС выпадения за 1986 г. бета-излучателя <sup>137</sup>Cs на территории РФ не превышали 200 Ки/км<sup>2</sup>. При этом приводится норма согласно РКВС-90 [РКВС, 1991] от 7000 до 9000 Ки/км<sup>2</sup>. Видимо, эта же цифра фигурировала и в паспортах более низкого уровня, но никто особенно не обращал внимания ни на величину норматива, ни на средний уровень выпадений, которые несомнестимы с обеспечением радиационной безопасности населения и биоты. Подобные опечатки не украшают официальный документ.

В **разделе 7** паспорта приводятся данные по количеству радиационных инцидентов. Как правило, в год отмечается до 200 случаев, например, в 2013 г. зафиксировано 194 инцидента, а в 2012 г. — 165. При анализе этого раздела следует помнить, что здесь учитываются и радиационные происшествия, инциденты и радиационные аварии. При этом радиационная авария определяется как – «потеря управления источником ионизирующего излучения, вызванная неисправностью оборудования, неправильными действиями работников (персонала), стихийными бедствиями или иными причинами, **которая могла привести или привела к облучению людей выше установленных норм или радиоактивному загрязнению окружающей среды**» [НРБ, 2009]. Как правило, все эти аварии и происшествия связаны с нарушением требований техники безопасности при работе с источниками ионизирующего излучения или отсутствием должного контроля за перемещением материалов, содержащих радиоактивные вещества. Так в 2013 г. незарегистрированные источники были обнаружены в 14 регионах страны (45 % от всех инцидентов) в металлоломе. В 2013 году один из этих 88 случаев привел к радиационной аварии, когда при обороте металлолома в плавильную печь попал ИИИ, содержащий <sup>137</sup>Cs. В результате

выброса была частично загрязнена территория завода ОАО ЭЗТМ в г. Электросталь, внутренние помещения 2-х цехов, а также небольшая часть селитебной зоны, примыкающей к предприятию. Дозы облучения, полученные работниками завода, при этом не превысили 1 мЗв (два человека получили дозы от 1 до 2 мЗв), а оценки доз на население города за первый год после аварии были ниже 1 мЗв.

В этом же 2013 г. в 72 случаях была обнаружена повышенная радиоактивность в объектах окружающей среды. Реальные медицинские последствия от всех инцидентов года зафиксированы только в одном случае при нарушении правил работы с дефектоскопом. Два человека из персонала получили локальное лучевое поражение кистей рук.

**Раздел 8** радиационно-гигиенического паспорта называется «Наличие лучевой патологии (число заболеваний в год)». Как правило, он начинается с необычайно простой и важной констатации, как например, в паспорте за 2008 год: «Лучевые патологии, связанные с переоблучением граждан в 2008 г., не зарегистрированы». В редкие годы этот раздел омрачается констатациями лучевых повреждений. Так в паспорте за 2013 г. указывается, что «В 2013 году зарегистрировано 2 случая лучевой патологии (острое лучевое поражение кистей рук) во Владимирской области».

К сожалению, на этом данный раздел не заканчивается. С некоторого времени и до последних лет в него стала включаться обширная таблица следующего вида (таблица 2.10).

Таблица 2.10 - Фрагменты таблицы 8.1 «Сведения о ликвидаторах аварии на чернобыльской АЭС, состоящих на учете в различных субъектах Российской Федерации в 2008 г.» [Результаты, 2009]

Субъекты Российской Федерации	Всего на конец года, чел.	Умерло, чел.	Получили инвалидность, чел.	Пролечено, чел.		Оздоровлено, чел.
				амбулаторно	в стационаре	
Республика Адыгея	425	12	0	370	103	54
Республика Башкортостан	2633	63	8	2633	584	207
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Чукотский АО	10		0	6	1	4
Ямало-Ненецкий АО	429	3	2	299	53	54
Всего по Российской Федерации	113365	2464	1496	76135	25671	10227

Понятно, что она создает определенные предпосылки для увязывания смертности и инвалидности среди ликвидаторов с радиационным воздействием. Тем более что паспорт не дает никаких указаний на особенности её составления и данные по средней смертности подобного рода когорты мужчин с учетом особенностей проживания (регион, городское, сельское).

Заключительный раздел паспорта содержит общий вывод, ценность которого трудно переоценить, а именно о том, что «Анализ представленных паспортов показал, что радиационная обстановка (в том году, на момент которого издаётся паспорт – прим. автора) на территории Российской Федерации по сравнению с предыдущими годами существенно не изменилась и остается в целом удовлетворительной».

При этом зачастую этот вывод дополняется различного рода не вполне выверенными оговорками, как например, в 2008 году: «Анализ представленных паспортов показал, что радиационная обстановка в 2008 г. на территории Российской Федерации по сравнению с предыдущими годами существенно не изменилась и остается в целом удовлетворительной, за исключением территорий, пострадавших в результате прошлых радиационных аварий».

Невыверенность данного дополнения связана с тем, что не указывается, что существующая радиационная обстановка может быть названа неудовлетворительной только для существенно меньших территорий – территорий в наибольшей степени подвергшихся радиационному загрязнению в результате прошлых крупных радиационных аварий.

Некоторые из последующих дополнений к основному выводу могут быть названы как сугубо надуманные. Например, указания на количество жителей с дозой дополнительного облучения выше 1 мЗв/год в паспорте за 2008 год: «По-прежнему дозы облучения около 200 тыс. жителей юго-западных районов Брянской области за счет радиоактивного загрязнения в результате аварии на Чернобыльской АЭС превышают 1,0 мЗв в год». Более корректно эта констатация могла быть сделана следующим образом. Около 200 тыс. жителей юго-западных районов Брянской области могут получать дозы дополнительного облучения выше 1,0 мЗв в год за счет радиоактивного загрязнения в результате аварии на Чернобыльской АЭС, в случае если будут употреблять в пищу постоянно и исключительно продукты питания, выращенные в местах их проживания.

Наиболее ярко формализм документа проявляется и в том случае, когда оцененная коллективная доза облучения населения РФ за счет всех источников облучения превращается в число стохастических эффектов, число которых, например, в 2008 г. составляло 40135, а в 2013 — 31056.

Под стохастическими эффектами здесь в основном понимаются случаи дополнительных онкозаболеваний в стране. Из приведенных выше двух значений можно было бы сделать вывод, что ситуация в стране заметно улучшилась за 5 прошедших лет (более чем на 20 %). На самом деле это не более, чем игра цифр и неопределенностей. Изменение условий подсчета доз облучения от природных источников, произошедшее в 2013 г., (усреднение за 5 лет) «уменьшило» число раковых заболеваний. Но важнее даже другое. Оцененная величина эффективной дозы облучения может быть использована для сравнения различных источников облучения, но никак не для оценки реального выхода злокачественных образований и оценки качества здравоохранения. Такая позиция научного сообщества неоднократно подчеркивалась в рамках работы МКРЗ и во многих публикациях этой международной организации. Хорошо осведомлены об этом и отечественные авторы нормативных документов по радиационной безопасности. Никаких экспериментальных фактов, подтверждающих, что облучение на уровне естественного радиационного фона обуславливает какую-то часть онкологических заболеваний, на сегодня не получено. И, следовательно, такую гипотезу очень преждевременно использовать в качестве причин заболеваний и реального сокращения жизни человека.

Значение радиационно-гигиенических паспортов заключается, прежде всего, в возможностях сравнения различных территорий страны по общей дозовой нагрузке на население и выбору стратегических приоритетов регионального развития.

В связи с вышеизложенным и в целях обеспечения положений Закона РФ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» при реализации региональных программ в области обеспечения радиационной безопасности населения необходим взвешенный подход, учитывающий соотношение различных рисков и определение приоритетных направлений в области совершенствования здравоохранения.

### **2.3 Системы радиэкологического мониторинга в Российской Федерации**

Важным средством обеспечения безопасности ЯРОО является радиационный мониторинг окружающей среды (радиэкологический мониторинг). Данные мониторинга используются для предупреждения о создающихся опасностях, угрозах, критических ситуациях и обеспечения органов управления информационной поддержкой для подготовки и принятия управленческих решений по регулированию экологической безопасности (рисунок 2.2).

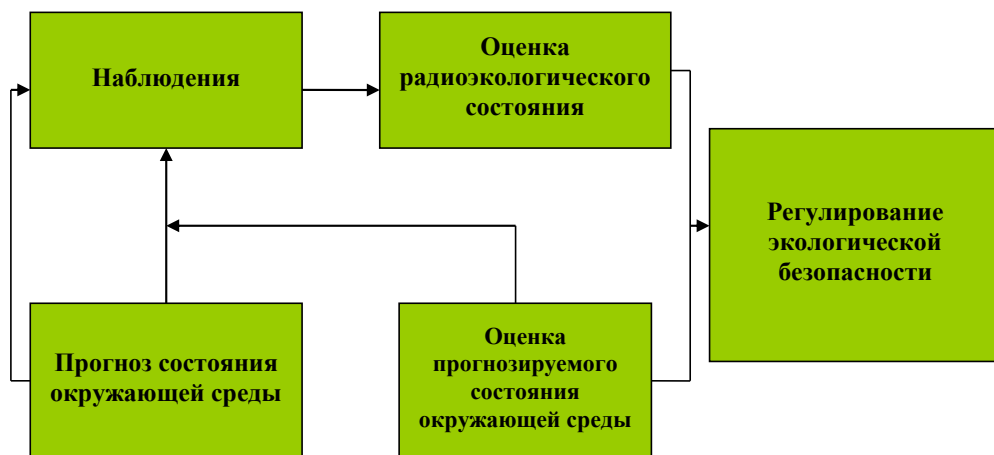


Рисунок 2.2 – Блок-схема регулирования экологической безопасности ЯРОО на основе радиозэкологического мониторинга

Радиозэкологический мониторинг является частью общей системы государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды), включающего подсистемы государственного мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды и государственного мониторинга радиационной обстановки, выполняющих регулярные наблюдения за показателями радиоактивности окружающей среды. В соответствии с Постановлением правительства Российской Федерации от 10.07.2014 N 639 организация и ведение системы государственного мониторинга радиационной обстановки осуществляются в рамках единой государственной автоматизированной системы мониторинга радиационной обстановки (ЕГАСМРО). Координация деятельности по ведению системы мониторинга и ее функциональных подсистем осуществляется Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

В соответствии с современными требованиями обеспечения экологической безопасности функционирование и развитие радиационного мониторинга окружающей среды производится на основе следующих принципов [Шершаков и др., 2010, с. 9-23]:

- *абсолютный приоритет защиты населения и окружающей среды* как важнейших составляющих национальной безопасности Российской Федерации;
- *принцип предупреждения воздействия* – система приоритетных действий, направленных на недопущение опасного экологического воздействия на человека и окружающую среду;
- *принцип готовности* – постоянная готовность к предотвращению и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций;
- *принцип системности* – системное и комплексное решение проблем обеспечения радиационно-экологической безопасности на локальном, региональном и глобальном уровнях на основе современных концепций анализа риска;
- *соблюдение международных обязательств* Российской Федерации, гармонизация с принципами и нормами международного атомного права.

В соответствии с современными представлениями и международной практикой радиозэкологический мониторинг должен быть ориентирован на обеспечение радиационной безопасности человека на социально приемлемом уровне. Социально приемлемый уровень безопасности предполагает, что риск от ядерных технологий и радиоактивного загрязнения окружающей среды не должен являться существенным добавлением к суммарному риску, которому подвергается человек и среда его обитания в процессе жизнедеятельности общества. Согласно НРБ-99/2009, предел индивидуального пожизненного риска для населения в условиях

нормальной эксплуатации для техногенного облучения в течение года принимается равным —  $5,0 \cdot 10^{-5}$ . Кроме этого, данные радиоэкологического мониторинга должны позволять сделать оценки радиационного воздействия на референтные объекты биоты для обеспечения радиационной защиты окружающей среды.

### 2.3.1 Эволюция задач радиоэкологического мониторинга

Сеть радиационного мониторинга окружающей среды (далее мониторинга) была создана в период интенсивных испытаний ядерного оружия в атмосфере и других средах. Основной задачей являлось наблюдение за глобальными радиоактивными выпадениями. Набор измеряемых радионуклидов был адаптирован к специфике спектра радионуклидов в глобальных выпадениях.

В СССР систематические ежедневные наблюдения за выпадениями радиоактивных продуктов ядерных взрывов из атмосферы на землю начались с марта 1954 г. на 120 метеостанциях [Махонько, 2002].

Изучение глобального радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды продуктами ядерных взрывов и научно-методическое обеспечение работ было сосредоточено на Обнинском полигоне Института прикладной геофизики АН СССР (позже НПО «Тайфун», ныне одно из учреждений Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромета)). Тогда же начала создаваться система сбора, обработки и обобщения информации о радиационной обстановке на территории страны с выпуском ежегодников (до распада СССР с ограниченным кругом распространения).

Радиационно-опасные объекты первоначально контролировали в соответствии с их ведомственной принадлежностью и в пределах их возможного воздействия на здоровье людей. Для мониторинга использовались накопительные и интегральные пробы с последующими измерениями в специализированных лабораториях.

После запрещения испытаний ядерного оружия в атмосфере и постепенного выхода глобальных выпадений на стационарный уровень актуальность мониторинга глобальных выпадений стала снижаться.

С 1962 г. начались регулярные выпуски Ежегодников НПО «Тайфун», в которых в форме обзоров приводились данные о результатах наблюдений за техногенным радиоактивным загрязнением объектов природной среды на всей территории бывшего СССР. К сожалению, сами выпуски были недоступны для широкой публики.

С 1990 г. бывший Госкомгидромет СССР начал разворачивать дополнительную систему контроля загрязнения природной среды в районах расположения радиационно опасных объектов. Частично такая дополнительная система существовала и раньше, например, вокруг ПО «Маяк» на Южном Урале и некоторых АЭС она действовала десятилетиями, но постепенно она стала приобретать всеобъемлющий характер, охватывая все радиационно опасные объекты страны без исключения [Радиационная, 1992]. С 1990 г. введено в действие, составленное по поручению бывшего Правительства СССР единое руководство по организации контроля в окрестностях АЭС [РКВС, 1991]. В первом российском выпуске Ежегодника [Радиационная, 1992] дается обзор динамики за 30-летний предшествующий период усредненных по географической территории СССР основных регистрируемых сетью параметров радиационной обстановки.

Загрязнение продуктов питания от глобальных выпадений ( $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ ) контролировалось в рамках системы Госэпиднадзора МЗ СССР во всех административных образованиях, путем регулярного отбора проб в нескольких реперных населенных пунктах и измерения среднего содержания изотопов  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ . Эта служба начала формироваться после 1964 г. Анализ получаемых данных проводился в ИБФ МЗ СССР [Петухова и Книжников, 1980; Бархударов и др., 1987]. После 1991 г. сама сеть мониторинга сохранилась в РФ, но постепенно объем самой сети и количества измерений сократились.

Еще в СССР стала возрастать значимость задач по развитию мониторинга объектов ядерно-промышленного комплекса и ядерной энергетики, а также на загрязненных радионуклидами территориях, включая:

- радиозоологический мониторинг окружающей среды в районах расположения предприятий ядерного топливного цикла и других радиационно-опасных объектов, количество которых значительно возросло;
- мониторинг территорий с повышенными техногенными уровнями радионуклидов в окружающей среде, сформировавшихся в результате прошлой деятельности радиационно-опасных объектов, аварий, испытаний ядерного оружия;
- мониторинг в рамках готовности к аварийным ситуациям с выбросом радиоактивности в окружающую среду, в том числе с трансграничным переносом радиоактивности, с учетом потенциальной возможности новых радиационных угроз, связанных с радиационными инцидентами, которые могут быть осуществлены с террористическими целями;
- мониторинг глобального изменения радиоактивности окружающей среды вследствие техногенной деятельности.

После аварии на Чернобыльской АЭС возникла необходимость модернизации приборной базы и методик радиационного мониторинга для приведения в соответствие современных задач мониторинга и системы средств их реализации, которая должна включать в себя следующие основные компоненты: обеспечение высокой скорости оповещения о неблагоприятном изменении радиационной обстановки, возможность количественного определения широкого спектра радионуклидов от разнообразных источников в различных средах с высокой чувствительностью с целью контроля не превышения безопасных уровней загрязнения окружающей среды и оценок доз на население.

Реализация этих функций мониторинга одними и теми же приборами затруднительна, поскольку приборы для скоростных измерений не имеют высокой точности и, как правило, измеряют лишь простые интегральные параметры (например, суммарную мощность дозы гамма-излучающих радионуклидов, суммарную активность бета-излучающих радионуклидов), тогда как для определения радионуклидного состава проб и сравнительно малых значений удельной активности необходимы измерения на стационарных приборах в специализированных лабораториях, что требует затрат времени и средств на транспортировку проб, пробоподготовку и на процесс измерений.

Система наблюдения в этой новой схеме тоже перестраивалась, может не так революционно, но согласно новым требованиям, которые диктовали одно: быстрое, качественное измерение параметра и незамедлительная передача пользователю. С принятием Федеральной целевой программы "Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года" модернизация системы наблюдения за радиационной обстановкой в стране обрела реальные очертания.

К настоящему времени наблюдения за содержанием радионуклидов в объектах природной среды (воздух, поверхностные и морские воды, почва) на территории РФ в отсутствие ЧС с радиационным фактором проводятся преимущественно стационарными пунктами наблюдения (гидрометеостанциями и постами), входящими в систему радиационного мониторинга (СРМ) Росгидромета. Научно-методическое руководство работой СРМ, сбор, анализ, обобщение и архивацию информации, получаемой на территориальном и региональном уровнях, осуществляет ФГБУ «НПО «Тайфун» Росгидромета. Схема расположения радиационно опасных объектов и пунктов СРМ представлена на рисунке 2.3 [Радиационная, 2011].

В зонах наблюдений АЭС и ЯРОО проводятся по специальным программам маршрутные обследования с отбором проб воды из поверхностных водоемов, растительности, снега, почвы и  $\gamma$ -съемкой местности [Радиационная, 2011].

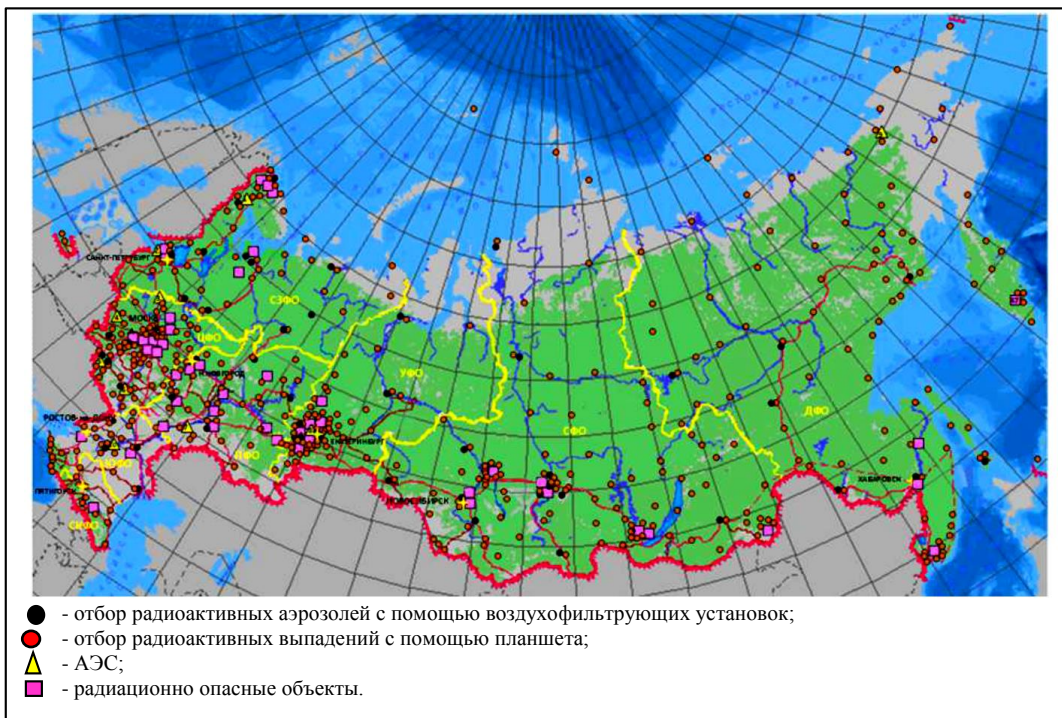


Рисунок 2.3 - Схема расположения радиационно опасных объектов и пунктов радиационного контроля Росгидромета [Радиационная, 2011]

### 2.3.2 Единая государственная система автоматизированного мониторинга радиационной обстановки (ЕГАСМРО)

Организацию и осуществление государственного мониторинга радиационной обстановки на территории Российской Федерации обеспечивает Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с участием федеральных органов исполнительной власти, осуществляющих государственное управление использованием атомной энергии, органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации и Государственной корпорации по атомной энергии "Росатом" в соответствии с их компетенцией, установленной законодательством Российской Федерации, в порядке, установленном Положением о государственном мониторинге состояния и загрязнения окружающей среды, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 6 июня 2013 г. N 477.

Данными органами обеспечивается представление информации, полученной при осуществлении государственного мониторинга радиационной обстановки на территории Российской Федерации, в единую государственную автоматизированную систему мониторинга радиационной обстановки (ЕГАСМРО) на территории Российской Федерации и ее функциональные подсистемы.

#### Порядок организации мониторинга

Единая государственная автоматизированная система мониторинга радиационной обстановки на территории Российской Федерации создается как объединение ведомственных и территориальных подсистем в единую систему путем построения функциональных подсистем ЕГАСМРО (ранее – ЕГАСКРО), основное назначение которых состоит в организации информационного взаимодействия и координировании действий сил и средств по решению базовых общесистемных задач, таких как контроль источников радиоактивного загрязнения, мониторинг загрязнения окружающей среды, мониторинг радиационного воздействия на человека



и среду его обитания, радиационная разведка в аварийных ситуациях и информационное сопряжение подсистем и служб ЕГАСМРО [Шершаков, 2009].

В соответствии с постановлением Правительства РФ от 10.07.2014 N 639 «О государственном мониторинге радиационной обстановки на территории Российской Федерации», координацию деятельности по организации и обеспечению функционирования ЕГАСМРО осуществляет Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет).

Постановлением № 639 определены порядок организации и ведения системы мониторинга радиационной обстановки и ее функциональных подсистем, полномочия соответствующих органов и организаций, порядок и периодичность представления информации, полученной при государственном мониторинге радиационной обстановки на территории России, в общую систему мониторинга и ее функциональные подсистемы.

Информация о радиационной обстановке включает данные, полученные государственной системой наблюдений в составе Росгидромета, а также данные, полученные локальными системами наблюдений в районах размещения ядерных установок, радиационных источников или пунктах хранения ядерных материалов и радиоактивных веществ, пунктах хранения, хранилищах радиоактивных отходов на особых территориях (санитарно-защитные зоны и зоны наблюдения), эксплуатируемых организациями, в отношении которых осуществляется государственное управление использованием атомной энергии в порядке, установленном законодательством Российской Федерации в области использования атомной энергии.

При организации и ведении системы мониторинга радиационной обстановки и ее функциональных подсистем Росгидрометом и соответствующими органами управления, осуществляющими государственное управление использованием атомной энергии, решаются следующие важные задачи.

Обеспечивается формирование и функционирование систем наблюдений за радиационной обстановкой на территории Российской Федерации.

Обеспечивается проведение регулярных наблюдений за радиационной обстановкой на территории Российской Федерации.

Осуществляются сбор, хранение, обработка и предоставление в систему мониторинга и ее функциональные подсистемы информации о радиационной обстановке.

Проводится анализ информации о радиационной обстановке в целях выявления ее изменений под воздействием природных и (или) антропогенных факторов.

Оцениваются и прогнозируются изменения радиационной обстановки на территории Российской Федерации.

Обеспечивается предоставление органам государственной власти, органам местного самоуправления, юридическим лицам, индивидуальным предпринимателям и гражданам информации о радиационной обстановке и происходящих и прогнозируемых ее изменениях.

Обеспечивается незамедлительное представление в единую государственную систему предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций оперативной фактической и прогностической информации о радиационной обстановке, свидетельствующей об угрозе возникновения чрезвычайной ситуации, а также о радиационной обстановке в границах зон чрезвычайных ситуаций.

Обеспечивается незамедлительное представление органу, уполномоченному осуществлять федеральный государственный надзор в области использования атомной энергии, информации о радиационной обстановке, свидетельствующей о ее изменении в связи с эксплуатацией объектов использования атомной энергии.

Обеспечивается предоставление органам, уполномоченным осуществлять федеральный государственный санитарно-эпидемиологический надзор, информации о радиационной обстановке на территории Российской Федерации.

Осуществляют выполнение обязательств по международным договорам Российской Федерации, предусматривающим предоставление информации о радиационной обстановке и (или) обмен информацией о радиационной обстановке.

Требования к сбору, обработке, хранению, предоставлению, распространению информации о радиационной обстановке, содержащейся в системе мониторинга и ее функциональных подсистемах, а также к обмену информацией о радиационной обстановке устанавливаются Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации (Минприроды РФ) по согласованию с Росгидрометом, органами управления в области использования атомной энергии и иными заинтересованными федеральными органами исполнительной власти.

Доступ федеральных органов исполнительной власти, органов государственной власти субъектов Российской Федерации и органов местного самоуправления к информации о радиационной обстановке, содержащейся в системе мониторинга и ее функциональных подсистемах, осуществляется через единую систему межведомственного электронного взаимодействия. Доступ юридических лиц, индивидуальных предпринимателей и граждан к информации о радиационной обстановке обеспечивается Росгидрометом или соответствующими органами управления, осуществляющими организацию и ведение системы мониторинга и ее функциональных подсистем в соответствии с Правилами ЕГАСМРО путем ее размещения на официальном сайте системы мониторинга и ее функциональных подсистем в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет».

Единство и сопоставимость данных мониторинга обеспечивается Росгидрометом через формирование совокупности нормативных правовых актов и методических документов по вопросам осуществления наблюдений, оценки и прогнозирования состояния окружающей среды.

### **Отраслевая АСМРО**

Отраслевая АСМРО (ранее ОГАСКРО) является информационно-измерительной системой, предназначенной для контроля радиационной обстановки за пределами промплощадок радиационно опасных объектов Госкорпорации «Росатом».

ОАСМРО входит в состав ЕГАСМРО и является одним из инструментов, предназначенным для оперативного оповещения в аварийных ситуациях и информационной поддержки при принятии решений, направленных на ликвидацию аварий и их последствий.

Данные о радиационной обстановке, полученные с помощью ОАСМРО в условиях нормальной эксплуатации ЯРОО, предназначены для информирования общественности с целью подтверждения безопасной работы предприятий и акционерных обществ атомной энергетики и промышленности.

ОАСМРО, как подсистема ЕГАСМРО, выполняет функции государственного контроля за радиационной обстановкой в районах размещения ядерных установок, радиационных источников и пунктов хранения, принадлежащих учреждениям Корпорации, акционерным обществам Корпорации и их дочерним обществам, а также подведомственным предприятиям.

В состав ОАСМРО входят: отраслевой центр сбора и передачи информации, а также автоматизированные системы мониторинга радиационной обстановки (АСМРО) предприятий и акционерных обществ Госкорпорации «Росатом», включенные в единую систему сбора и передачи информации.

Объектовые АСМРО в своем составе имеют посты контроля, оснащенные работающими в автоматическом режиме приборами и оборудованием для измерения мощности дозы гамма-излучения и метеорологических параметров. При необходимости объектовые АСМРО могут иметь посты мониторинга для выполнения специальных задач.

Основным назначением АСМРО является осуществление непрерывного контроля радиационной обстановки в районе расположения ЯРОО и информационно-аналитическая поддержка противоаварийных структур, действий руководства ЯРОО, органов управления и государственной власти различных уровней, направленная на обеспечение радиационной

безопасности населения и окружающей среды [Безруков и Печкуров, 2009; Шершаков, 2010, с. 12-16]. Информационно-аналитическая поддержка противоаварийных структур заключается в распространении данных о радиационной обстановке пользователям АСМРО; анализе результатов статистической обработки показаний АСМРО и значений радиационного фона; сигнализации о превышении установленных для нормальной эксплуатации ЯРОО допустимых значений контролируемых параметров в целях своевременного аварийного реагирования; обеспечении специалистов по радиационной безопасности данными о радиационной обстановке (наряду с другой информацией) в ходе действий по предупреждению и ликвидации последствий аварии.

Построение и функционирование объектов АСМРО осуществляется на основе следующих принципов:

- непрерывность наблюдений за контролируруемыми параметрами радиационной обстановки, оперативное обнаружение ухудшения радиационной обстановки в случае радиационных аварий и инцидентов, позволяющее принять своевременные меры по обеспечению радиационной безопасности населения и охране окружающей среды;
- соблюдение установленных требований к сбору, обработке, контролю качества, хранению и распространению информации о контролируемых параметрах радиационной обстановки;
- единство методик измерений и сопоставимость их результатов, доступность информации для пользователей;
- обеспечение организационно-технической и информационной совместимости АСМРО с отраслевой, территориальной и федеральной системами мониторинга радиационной обстановки в рамках ЕГАСМРО.

ОАСМРО и объектовые АСМРО в зависимости от радиационной обстановки функционируют в следующих режимах: повседневной деятельности – при нормальной радиационной обстановке; повышенной готовности – при ухудшении радиационной обстановки на радиационно опасном объекте; радиационной аварии. Режимы функционирования объектовых АСМРО и ОАСМРО устанавливаются по результатам анализа сложившейся радиационной обстановки и тенденции ее изменения.

В условиях, когда параметры радиационной обстановки слабо изменяются в пределах нормативных уровней, мониторинг проводится в целях: надзора за соблюдением установленных нормативов для контролируемых параметров радиационной обстановки; как можно более раннего выявления признаков аварийной ситуации на ЯРОО для изменения режима функционирования АСМРО; определения исходной радиационной обстановки в условиях ее возможного ухудшения.

При относительно быстром изменении радиационной обстановки мониторинг проводится в целях: как можно более раннего выявления причин происходящих изменений и степени их опасности; прогноза дальнейших изменений радиационной обстановки; определения необходимых мер по обеспечению радиационной безопасности и мер защиты в соответствии с нормами радиационной безопасности.

После проведения мероприятий по улучшению радиационной обстановки мониторинг проводится в целях обоснования реабилитационных мероприятий и определения их эффективности.

Основным режимом функционирования АСМРО ЯРОО является режим повседневной деятельности. В основном режиме работы система должна осуществлять: непрерывное измерение МЭД, метеорологических величин и других контролируемых параметров радиационной обстановки; проверку величин измеряемых параметров на превышение установленных контрольных уровней; сохранение информации в базе данных; ведение протокола работы АСМРО; передачу полученной информации в ОГАСМРО и территориальные подсистемы ЕГАСМРО; представление информации по запросам в соответствии с утвержденными формами.

В режиме повышенной готовности система должна осуществлять: продолжение работы в основном режиме; провести анализ радиационной обстановки и подготовиться к выезду

мобильной лаборатории на случай ее ухудшения; провести прогноз и оценку масштабов радиоактивного загрязнения на основе данных измерений и моделирования распространения радиоактивных примесей в атмосфере. В режиме возникновения ЧС система должна осуществлять: продолжение работы в режиме повышенной готовности по непрерывному измерению контролируемых параметров радиационной обстановки; провести маршрутные обследования загрязнения атмосферного воздуха и других компонент природной среды в результате возникновения ЧС; провести прогноз и оценку масштабов загрязнения на основе данных измерений и моделирования распространения примесей в атмосфере и других компонентах природной среды.

Смена режима функционирования производится на основании анализа радиационной обстановки и прогноза ее изменения автоматически при достижении отдельными радиационными параметрами установленных контрольных уровней или по команде оператора. Изменение режима функционирования системы должно обеспечиваться изменением параметров функционирования измерительных подсистем, сетей передачи данных и регламентов обработки информации, а также может сопровождаться проведением организационных мероприятий по обеспечению бесперебойного функционирования системы.

В рамках АСМРО также осуществляются непрерывные измерения фоновой мощности дозы гамма-излучения. Это обеспечивает наглядную информацию для населения о радиационной обстановке.

### **2.3.3 Регламент радиэкологического мониторинга**

На разработку регламента радиэкологического мониторинга оказывают влияние следующие факторы, имеющие принципиальное значение при оценке радиационного воздействия на человека и биоту: возможные источники радиоактивного загрязнения и их тип – локальные или распределенные, текущие и прогнозируемые выбросы радионуклидов, радионуклидный состав выброса, пространственные и временные особенности распределения радионуклидов в компонентах окружающей среды, относительная значимость путей радиационного воздействия.

С учетом рекомендаций [Методика, 2014; IAEA, 2005; IAEA, 2010] могут быть сформулированы следующие основные требования к регламенту радиационного мониторинга окружающей среды:

- слежение (контроль) за соблюдением установленных нормативов содержания радионуклидов в компонентах природной среды;
- получение данных, необходимых для определения радиационного воздействия на компоненты природной среды и население;
- проверка адекватности контроля выбросов/сбросов и в случае необычных или непредсказуемых условий переход на специальную программу радиационного мониторинга.

Регламент обычного штатного мониторинга должен предусматривать возможность оперативного перехода к аварийному мониторингу в случае возникновения аварийной ситуации.

В качестве дополнительных требований к регламенту радиационного мониторинга окружающей среды предъявляются [IAEA, 2005]:

- обеспечение общественности информацией о степени радиационного воздействия на компоненты природной среды и население;
- непрерывное пополнение и управление базой данных о содержании радионуклидов в компонентах природной среды;
- проверка предсказаний расчетов по радиэкологическим моделям для их возможной модификации с целью снижения неопределенности в оценке радиационного воздействия на окружающую среду и население;
- обнаружение непредсказуемых изменений и оценка долгосрочных трендов в концентрации радионуклидов в компонентах природной среды;

- определение концентраций радионуклидов в объектах биоты, аккумулирующих радионуклиды и являющихся наиболее чувствительными индикаторами радиоактивного загрязнения окружающей среды;
- получение сопутствующей информации, необходимой для оценки радиационного воздействия на население и окружающую среду: метеорологической, гидрологической, о типах почвы, демографической, популяционной, экономической.

Регламент радиационного мониторинга окружающей среды является результатом процесса оптимизации, в котором рассматриваются наличие и возможности технических средств измерений, относительная значимость различных путей формирования радиационного риска, уровни содержания радионуклидов в компонентах природной среды относительно допустимых значений и оцениваемые величины радиационного риска.

Пример рекомендаций по выбору компонентов природной среды и частоте отбора проб в регламенте радиационного мониторинга при штатных условиях эксплуатации радиационных объектов приведен в таблице 2.11 [IAEA, 2005]. Представленный пример соответствует рекомендациям по организации системы радиационного мониторинга окружающей среды при относительно малых уровнях радиационного риска.

Таблица 2.11 - Рекомендации МАГАТЭ по выбору компонент природной среды и частоте отбора проб для радиационного мониторинга среды при штатных выбросах радионуклидов [IAEA, 2005]

Компонент	Частота отбора проб
Мощность дозы гамма-излучения	Непрерывно
Интегральная доза гамма-излучения	2 раза в год
Воздух	Непрерывный отбор, еженедельные измерения
Атмосферные выпадения	Непрерывный отбор, ежемесячные измерения
Почва	1 раз в год
Наземные биоиндикаторы (Например, мох, грибы, хвоя)	1 раз в год
Поверхностные воды	Непрерывный отбор, ежемесячные измерения
Донные отложения	1 раз в год
Водные биоиндикаторы (водоросли, бентос)	2 раза в год
Рыба	1 раз в год
Питьевая вода	2 раза в год
Сельскохозяйственные продукты	1 или несколько раз в год, в зависимости от вида продукта

В регламенте радиационного мониторинга окружающей среды должно быть уделено особое внимание критическим путям радиационного воздействия и критическим радионуклидам с тем, чтобы радиационный мониторинг был направлен на наиболее важные компоненты формирования радиационного риска. Для этого используется процедура скрининга, направленная на исключение из дальнейшего рассмотрения факторов наименее значимых для радиационной безопасности, с тем, чтобы в последующем сконцентрироваться на наиболее существенных факторах. Обычно скрининг выполняется на начальном этапе анализа риска на основе наиболее консервативных предположений, упрощенной программы наблюдений и консервативных модельных оценок.

## 2.4 Оценка доз облучения референтных объектов биоты

В отличие от человека, для которого помимо расчетных методов оценки дозовых нагрузок применяется в ряде случаев и инструментальный мониторинг (дозиметры для измерения индивидуальных доз внешнего облучения и измерения на установках СИЧ для контроля внутреннего облучения), для представителей биоты пока во всем мире используются, главным

образом, расчетные методы<sup>6</sup>. При этом в систему современного мониторинга радиационной обстановки входит и контроль концентраций ряда наиболее значимых радионуклидов в объектах природы, которые могут использоваться в качестве продуктов питания человека (наиболее характерные примеры: молоко, мясо крупного рогатого скота, рыба, зерно, некоторые овощные культуры и т.п.). Результаты такого мониторинга могут быть, в частности, использованы и для вполне корректных оценок доз внутреннего облучения соответствующих видов биоты. Но гораздо чаще для оценки доз облучения отдельных видов биоты используются модельные расчеты.

Система оценки доз облучения на биоту в настоящее время находится в стадии становления. Ниже будут рассмотрены принципиальные моменты, характерные для этой стадии.

#### **2.4.1 Выбор референтных видов биоты для оценки радиационного воздействия**

В связи с огромным видовым разнообразием биосферы и практической невозможностью оценить радиационное воздействие на каждый вид биоты методология оценки радиационной безопасности окружающей среды разрабатывается для сравнительно небольшого числа представительных, или референтных видов [Sazykina and Kryshev, 2002; ICRP, 2008; ICRP, 2014]. Предполагается, что результаты оценок доз для референтных видов могут стать основой для анализа экологических рисков для биоты в целом. Набор референтных биологических видов играет в системе радиационной защиты биоты примерно ту же роль, что и концепция «референтного человека» в системе радиационной защиты населения.

Типовые референтные организмы рассматриваются при проведении скринингового анализа дозовых нагрузок на биоту. В случае необходимости проведения более детального расчета дозовых нагрузок на конкретной территории целесообразно выбрать референтные организмы для конкретной географической области. Для обоснования выбора референтных организмов в конкретной географической области в целях радиоэкологического анализа предлагается использовать следующие основные критерии [Sazykina et al., 2002; Крышев и Сазыкина, 2013; Крышев и др., 2014]: экологические (положение в экосистеме), доступность для мониторинга, дозиметрические (критические пути облучения), радиочувствительность, способность вида к самовосстановлению.

Экологические критерии. Выбор референтных организмов для географической области и заданного типа экосистемы рекомендуется осуществлять среди доминирующих видов на основных трофических уровнях экосистем. Доминирующие виды осуществляют главные потоки энергии/биомассы в экосистеме, нормальное состояние доминирующих популяций жизненно важно для функционирования всей экосистемы. Как правило, один или сравнительно небольшое число доминирующих видов организмов могут быть репрезентативными для одного трофического уровня экосистемы. Предпочтительнее следует отдавать видам-космополитам, наиболее исследованным с радиоэкологической точки зрения.

Доступность для радиоэкологического мониторинга. Для мониторинга, с учетом необходимости регулярных измерений накопленных в них радионуклидов, целесообразно выбирать референтные организмы среди видов, обладающих следующими свойствами: космополиты или типичные, многочисленные с широким географическим ареалом распространения; не представляющие трудностей для наблюдения и отбора проб; легко идентифицируемые; имеющие промысловое, коммерческое или иное важное значение для человека.

Наряду с этим, организмы, которые являются естественными аккумуляторами радионуклидов, являются так же подходящими для радиоэкологического анализа и мониторинга, поскольку они характеризуются высокими уровнями содержания радионуклидов.

---

<sup>6</sup> Есть и исключения. Например, спустя год после аварии на японской АЭС «Фукусима-Дайичи» была запущена специальная программа мониторинга лесных массивов в зоне, из которой была произведена эвакуация жителей. Местных обезьян, оснащали специальными ошейниками, в течение двух месяцев они измеряли мощность дозы. Второй целью данной программы призвано определить, какую дозу радиоактивного облучения получили дикие лесные животные в результате загрязнения окружающей среды.

Исключениями являются микроорганизмы, которые, несмотря на их экологическую важность в трофической системе, являются малоприспособленными для радионуклидного анализа по причине малых размеров и трудностей отбора проб. Редкие виды организмов также непригодны для радиоэкологического мониторинга, так как их изъятие для измерений может привести к неоправданному экологическому ущербу.

Дозиметрические критерии. Рекомендуется производить выбор референтных организмов на основе анализа критических путей радиационного воздействия и среди представителей «критических групп» для основных путей облучения.

Критерий биологической радиочувствительности. Для анализа радиоэкологических последствий радиационного воздействия референтные организмы следует отбирать из числа радиочувствительных видов, присутствующих в данном типе экосистемы. Нецелесообразно выбирать референтные организмы среди радиоустойчивых видов.

Критерий потенциала самовосстановления при повреждении популяции. Биологические виды значительно отличаются по способности восстанавливать численность популяции, в случае гибели или повреждения отдельных особей. В общем случае, восстановительный потенциал популяции зависит от числа потомства, произведенного в единицу времени, и также от длительности периода развития организмов (время достижения репродуктивной зрелости). Не представляет практического интереса выполнение детального радиологического анализа для биологических видов, имеющих очень высокий потенциал самовосстановления. Таким образом, низкий потенциал восстановления может использоваться как критерий для выбора наиболее уязвимых видов организмов.

Если биологический вид удовлетворяет всем или большей части вышеупомянутых критериев, то он может рассматриваться в качестве кандидата в список референтных организмов для целей радиоэкологического анализа в данной географической области и заданном типе экосистем (наземной, водной и т.д.).

Сами по себе референтные виды могут не являться прямыми объектами защиты, они служат, в первую очередь, основой для управления и принятия решений по радиационной защите окружающей среды.

В соответствии с публикациями МКРЗ и НКДАР ООН [ICRP, 2008; UNSCEAR, 2011], рекомендуется выбирать референтные объекты для оценки радиационного воздействия из следующих организмов биоты: наземное насекомое, пчела, травянистое растение, дерево (сосна), наземная улитка, дождевой червь, наземные амфибии (лягушка, уж), утка, наземные млекопитающие (мышь, олень/косуля), макроводоросли, рыба (пелагическая и бентическая), моллюски, водные млекопитающие.

#### **2.4.2 Оценка мощности дозы**

Мощности дозы облучения организмов биоты зависят от удельной активности и распределения радионуклидов в компонентах экосистем, размеров и особенностей поведения организмов, типа и энергии ионизирующего излучения.

При оценке величины радиационно-экологического воздействия учитываются следующие пути облучения организмов: внешнее облучение от объектов окружающей среды, внутреннее облучение от радионуклидов, накопленных организмами биоты. В соответствии с принципом необходимости учета множественных путей радиационного воздействия рассматривается каждый из этих путей, и оценивается его роль в формировании дозы облучения референтных объектов биоты. При наличии у рассматриваемого радионуклида короткоживущих продуктов распада, доза облучения оценивается с учетом их вклада, в предположении равновесия удельной и объемной активности материнского и дочернего радионуклида в компонентах природной среды.

Расчеты мощности дозы облучения организмов биоты могут выполняться в соответствии с моделями, представленными в международных документах [ICRP, 2009; UNSCEAR, 2011]. Конечно, эти модели, а также оригинальные разработки по оценке дозовых нагрузок на биоту

должны быть адаптированы к местным условиям. Кратко изложение подходов к моделированию дозовых нагрузок на биоту изложено ниже (раздел 4.1).

## **Выводы и практические рекомендации**

1. В РФ существует несколько государственных регистров лиц, подвергавшихся радиационному воздействию в результате радиационных аварий и прошлой деятельности радиационно-опасных предприятий:
  - регистр доз облучения персонала на ПО «Маяк»,
  - регистр ликвидаторов последствий радиационной аварии 1957 года на ПО «Маяк»,
  - регистр и база данных по острым лучевым поражениям человека,
  - регистр лиц, подвергшихся радиационному воздействию в результате аварии на ЧАЭС.
2. В РФ действует Единая система контроля и учёта индивидуальных доз облучения граждан (ЕСКИД), которая является частью подсистемы Минздрава России в рамках Единой Государственной Автоматизированной Системы Контроля Радиационной Обстановки (ЕГАСКРО).
3. Радиационно-гигиенические паспорта организаций и территорий представляются в учреждения Государственной санитарно-эпидемиологической службы Российской Федерации. На их основе выпускается радиационно-гигиенический паспорт Российской Федерации, который позволяет оценивать радиационную ситуацию в целом по стране и отслеживать характерные тенденции в динамике отдельных параметров.
4. Важным средством обеспечения безопасности ЯРОО и радиационной безопасности территории РФ является радиационный мониторинг окружающей среды (радиоэкологический мониторинг). Координация деятельности по ведению системы мониторинга и ее функциональных подсистем осуществляется Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет).
5. Единая государственная автоматизированная система мониторинга радиационной обстановки на территории Российской Федерации развивается как объединение ведомственных и территориальных подсистем в единую систему путем построения функциональных подсистем ЕГАСМРО (ранее – ЕГАСКРО).
6. В связи с огромным видовым разнообразием биосферы и практической невозможностью оценить радиационное воздействие на каждый вид биоты, методология оценки радиационной безопасности окружающей среды разрабатывается для сравнительно небольшого числа представительных, или референтных видов. Набор референтных биологических видов играет в системе радиационной защиты биоты примерно ту же роль, что и концепция «референтного человека» в системе радиационной защиты населения. Расчеты мощности дозы облучения референтных видов выполняются в соответствии с моделями, представленными в международных документах [ICRP, 2009; UNSCEAR, 2011].

## **Список использованных источников**

- 1 Development of an Improved Dosimetry System for the Workers at the MAYAK Production Association. Vasilenko E., Khokhryakov V., Lynn Anspaugh, September 1997.
- 2 IAEA 2005. Environmental and source monitoring for purposes of radiation protection. IAEA Safety Standards for protecting people and the environment. Safety Guide No. RS-G-1.8. Vienna, 2005. – 136 p.
- 3 IAEA 2010. Programmes and Systems for Source and Environmental Monitoring. Safety Reports Series No. 64. Vienna, 2010. – 248 p.
- 4 ICRP 1977. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 26, Ann. ICRP 1 (3). 1977.



- 5 ICRP 2008. Publication 108. Environmental Protection: the Concept and Use of Reference Animals and Plants. Annals of the ICRP, 2009. – 251 p.
- 6 ICRP 2009. Publication 114. Environmental Protection: Transfer Parameters for Reference Animals and Plants. Annals of the ICRP, 2009. – 111 p.
- 7 ICRP 2014. Publication 124. Protection of the Environment under Different Exposure Situations. Annals of the ICRP, 2014. – 59 p.
- 8 Sazykina T.G., Kryshev I.I. Assessment of radiological impact on marine biota in the OSPAR region (Marina update project). - Proceedings from the International Conference on Radioactivity in the Environment. Extended Abstracts. NRPA, 2002. – P.565-568.
- 9 Shigematsu I. The 2000 Sievert Lecture — Lessons from Atomic Bomb Survivors in Hiroshima and Nagasaki. // Health Physics, 2000. Vol. 79, № 36, p. 234-241.
- 10 UNSCEAR 1977. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1977. Report to the General Assembly, with annexes. United Nations sales publication E.77.IX.1. United Nations. – NY, 1977. – P. 41.
- 11 UNSCEAR 2011. Effects of radiation on the environment. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volume II, Scientific Annex E. Effect of ionizing radiation on non-human biota. United Nations, New York, 2011. – 164 p.
- 12 Бархударов Р.М., Борисов Б.К., Книжников В.А., Петухова Э.В., Шепелева Е.Р. Поступление с рационом и содержание стронция-90 и цезия-137 в организме жителей СССР в 1980-1982 гг. Гигиена и санитария, № 5, 1987.
- 13 Безруков Б.А., Печкуров А.В. Автоматизированная система контроля радиационной обстановки в районах расположения АЭС (АСКРО АЭС). Сборник докладов второй Всероссийской научно-практической конференции «Состояние и развитие единой государственной системы контроля радиационной обстановки на территории Российской Федерации». Обнинск, ГУ «НПО «Тайфун», 26-29 октября 2009 г. - С.164-167.
- 14 Болотникова М.Г., Кошурникова Н.А., Окатенко П.В., Груздева Е.А. Некоторые медицинские последствия радиационной аварии 1957 года на ПО «Маяк» // Материалы Региональной научно-практической конференции «ВУРС-45» под ред. С.И. Ровного. Озерск, 2002, сс. 294-299.
- 15 Булдаков Л.А., Калистратова В.С. Радиационное воздействие на организм – положительные эффекты. М.: Информ-Атом, 2005. – С.246.
- 16 Дощенко В.А., Булдаков Л.А. Медицинские последствия техногенного радиационного воздействия. Медицинская радиология и радиац. безопасность. М. Радэкол. 2003, т. 48, № 4, с. 38-44.
- 17 Дощенко В.А., Булдаков Л.А. Профилактика и диагностика лучевых заболеваний в период пуска и освоения атомного производства на ПО «Маяк». М. ИздАТ. 1995. 80 с.
- 18 Иванов В.К., Цыб А.Ф., Иванов С.И., Максютов М.А., Питкевич В.А., Бирюков А.П., Горский А.И., Растопчин Е.М., Меских Н.Е. Ликвидаторы чернобыльской катастрофы: радиационно-эпидемиологический анализ медицинских последствий. – М.: Галанис, 1999 – 312 с.
- 19 Ильин Л.А., Дрожко Е.Г., Аксель Е.М., Рон Е., Хохряков В.В., Кошурникова Н.А. Заболеваемость раком щитовидной железы среди жителей города Озерска (эпидемиологическое исследование). Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2003. 48 № 1, сс. 57-64.
- 20 Ильин Л.А., Киселев М.Ф., Панфилов А.П. Медико-дозиметрический регистр работников атомной промышленности России. Состояние и перспективы. Бюллетень сибирской медицины, № 2, 2005, сс. 6-13.
- 21 Кабилова Н.Р., Окатенко П.В., Кошурникова Н.А. Состояние здоровья детей ликвидаторов последствий аварии 1957 года на ПО «Маяк» (показатели смертности). Опыт преодоления последствий техногенных аварий и развитие атомных технологий. Материалы научно-практической конференции, посвященной 50-летию аварии на ПО «Маяк». Челябинск, 2007, сс. 198-205.

- 22 Кошурникова Н.А., Кабирова Н.Р., Болотникова М.Г., Петрушкина Н.П., Шильникова Н.С., Сокольников М.Э., Василенко Е.К., Кузнецова И.С., Окатенко П.В., Креслов В.В. Характеристика регистра лиц, проживавших в детском возрасте вблизи ПО «Маяк» // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2003, 48 № 2, сс. 27-34.
- 23 Крышев И.И., Сазыкина Т.Г. Радиационная безопасность окружающей среды: необходимость гармонизации российских и международных нормативно-методических документов с учетом требований федерального законодательства и новых международных основных норм безопасности ОНБ-2011. – Радиация и риск, 2013, том 22, № 1, стр. 47-61.
- 24 Крышев И.И., Сазыкина Т.Г., Крышев А.И., Скакунова М.А., Лунева К.В. Комплексная оценка радиационно-экологического воздействия АЭС по данным интегрированного мониторинга радиационной обстановки. Девятая международная научно-техническая конференция «Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики» (Москва, 21-23 мая 2014 года). ОАО «Росэнергоатом», 2014. – С. 163-164.
- 25 Крючков В.П., Кочетков О.А., Цовьянов А.Г. Радиационно-дозиметрические аспекты ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС / Под ред. В.Г. Асмолова и О.А. Кочеткова — М.: ИздАТ, 2011. — 256 с.
- 26 Махонько К.П. Поведение в атмосфере радиоактивных продуктов ядерных взрывов. – СПб.: Гидрометеоздат, 2002. – 164 с.
- 27 Методика оценки радиационных рисков на основе данных мониторинга радиационной обстановки. Рекомендации Р 52.18.787-2013. Вводятся в действие с 1 ноября 2014 г. Приказом Росгидромета № 566 от 28 октября 2013 г. Обнинск, ФГБУ «НПО «Тайфун», 2014. – 115 с.
- 28 Методические указания МУ 2.6.1.02495 «Реконструкция накопленной дозы у жителей бассейна р. Теча и зоны аварии в 1957 г. на производственном объединении «Маяк», Москва, 1995.
- 29 НРБ 2009. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. - 100 с.
- 30 Отчет по безопасности. – Москва, 2015. 108 с.
- 31 Петухова Э.В., Книжников В.А. Поступление стронция-90 и цезия-137 глобального происхождения с пищевым рационом населению Советского Союза в 1976-1979 гг., препринт НКРЗ №81-29, 1980.
- 32 Постановление Правительства РФ от 28 января 1997 г. N 93 «О порядке разработки радиационно-гигиенических паспортов организаций и территорий».
- 33 Программа совместной деятельности по преодолению последствий чернобыльской катастрофы в рамках Союза Беларуси и России на 1998–2000 годы утверждена постановлением Исполнительного комитета Союза Беларуси и России от 10.06.98 № 1.
- 34 Программа совместной деятельности по преодолению последствий чернобыльской катастрофы в рамках Союзного государства на 2002–2005 годы утверждена постановлением Совета Министров Союзного государства от 09.04.2002 № 17.
- 35 Программа совместной деятельности по преодолению последствий чернобыльской катастрофы в рамках Союзного государства на 2006–2010 годы утверждена постановлением Совета Министров Союзного государства от 26.09.2006 № 33.
- 36 Программа совместной деятельности по преодолению последствий чернобыльской катастрофы в рамках Союзного государства на период до 2016 года утверждена постановлением Совета Министров Союзного государства от 13.12.2013 № 21.
- 37 Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2009 г. Ежегодник под ред. С.М. Вакуловского, Санкт-Петербург, Гидрометеоздат, 2010, — 316 с.
- 38 Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2010 г. Ежегодник под ред. С.М. Вакуловского, Санкт-Петербург, Гидрометеоздат, 2011, — 282 с.
- 39 Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 1991 г. Ежегодник. Под ред. К.П. Махонько. Обнинск – НПО «Тайфун», 1992. — 339 с.

- 40 Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2008 год (радиационно-гигиенический паспорт Российской Федерации). — М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. 2009. — 112 с.
- 41 Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2013 год (радиационно-гигиенический паспорт Российской Федерации). — М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. 2014. — 124 с.
- 42 РКВС-90. Руководство по контролю за радиоактивностью внешней среды и внутренним облучением личного состава кораблей с атомными энергетическими установками. / МО СССР. М.: Воениздат, 1991. - 96 с.
- 43 Российский национальный доклад. 25 лет Чернобыльской аварии. Итоги и перспективы преодоления ее последствий в России 1986-2011. Под общей ред. С.К. Шойгу, Л.А. Большова. М.: — 2011, 160 с.
- 44 Цовьянов А.Г., Костеров В.В. Крючков В.П., Романов В.В., Поцяпун Н.П., Кухта Б.А., Сивенков А.Г. Информационно-аналитический справочник «Дозы облучения персонала организаций и населения на территориях, обслуживаемых ФМБА России и Минобороны России, в 2010 году. М.: 2012. – 86 с.
- 45 Цыб А.Ф., Деденков А.Н., Иванов В.К., Степаненко В.Ф., Пожидаев В.В., Питкевич В.А., Матвеев Е.Г., Испенков Е.А., Стадник О.Е., Максютов М.А., Гагин Е.А., Айрапетов С.А., Польский О.Г., Тураев Р.Н., Романенко А.Е., Ледошук Б.А. Омелянец Н.И., Сытник А.С., Бурьяк В.Н., Стежко В.А., Лосев Г.А., Линге И.И. Разработка Всесоюзного регистра лиц, подвергшихся радиационному воздействию в результате аварии на Чернобыльской АЭС // Медицинская радиология. – 1989. - № 7. – сс.3-6.
- 46 Шершаков В.М. Особенности организационного управления в ЕГАСКРО. Сборник докладов второй Всероссийской научно-практической конференции «Состояние и развитие единой государственной системы контроля радиационной обстановки на территории Российской Федерации». Обнинск, ГУ «НПО «Тайфун», 26-29 октября 2009 г. – С.35-54.
- 47 Шершаков В.М., Булгаков В.Г., Крышев И.И., Косых В.С., Бурков А.И., Прописнова М.В. Экологический мониторинг ядерно и радиационно опасных объектов. - Безопасность окружающей среды, 2010, № 3. - С. 12-16.
- 48 Шершаков В.М., Косых В.С., Булгаков В.Г., Сарычев С.А. Развитие базовой территориальной подсистемы радиационного мониторинга Росгидромета в составе ЕГАСКРО. Проблемы гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды. Том 3. Обнинск, ГУ НПО «Тайфун», 2010. – С.9-23.

### **Глава 3 Современная система ограничений воздействия объектов использования атомной энергии на население и окружающую среду: выбросы и сбросы радиоактивных веществ, образование РАО**

С момента возникновения атомной промышленности возникла задача ограничения поступлений радиоактивных веществ в объекты окружающей среды (в дальнейшем получивших названия «выбросов», когда речь шла об атмосферном воздухе, и «сбросов», если рассматривались поверхностные водоемы и водотоки), а также проблема, связанная с накоплением и хранением РАО. Уже в первые годы был налажен мониторинг, позволяющий оценивать величины сбросов и выбросов, а также некоторые характерные параметры складывающейся радиационной обстановки вокруг этих предприятий. В первой главе рассматривалась эволюция подходов и принципов радиационного нормирования. Настоящая глава посвящена рассмотрению действующих в настоящее время в Российской Федерации нормативных ограничений.

В соответствии со статьей 23 Федерального закона от 10.02.2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» [Федеральный, 2002], выбросы и сбросы радиоактивных веществ допускается осуществлять в рамках установленных нормативов предельно допустимых выбросов и нормативов допустимых сбросов и только на основании разрешений, выданных органами исполнительной власти, осуществляющими государственное управление в области охраны окружающей среды.

В конце 2010 г. постановлением Правительства Российской Федерации [Постановление, 2010] в Положение «О Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору» [Постановление, 2004], внесены изменения, в соответствии с которыми органом исполнительной власти, ответственным за выполнение государственных функций по установлению нормативов ПДВ радиоактивных веществ в атмосферный воздух и нормативов ДС в водные объекты, а также по выдаче разрешений на выбросы и сбросы радиоактивных веществ, назначена Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (далее – Ростехнадзор).

Порядок установления нормативов ПДВ определяется постановлением Правительства от 2 марта 2000 г. № 183 «О нормативах выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух и вредных физических воздействий на него» [Постановление, 2000], согласно которому нормативы ПДВ устанавливаются территориальными органами Ростехнадзора при наличии санитарно-эпидемиологического заключения о соответствии ПДВ санитарным правилам.

Порядок утверждения нормативов ДС радиоактивных веществ в водные объекты определяется постановлением Правительства от 23 июля 2007 года № 469 «О порядке утверждения нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей» [Постановление, 2007], в соответствии с которым нормативы ДС утверждаются Ростехнадзором по согласованию с Федеральным агентством водных ресурсов, Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека и Федеральным агентством по рыболовству.

В настоящее время в Российской Федерации в области обращения с РАО основные усилия реализуются по двум направлениям: решение проблем ядерного наследия и создание единой государственной системы обращения с РАО (ЕГС РАО).

До середины 1990-х гг. атомная отрасль существовала в режиме отложенных решений по этим направлениям. В отношении РАО была создана система приема радиоактивных отходов, обработки и хранения. Только часть жидких РАО захоранивалась в глубинные пласты-коллекторы.

Отечественная система классификации РАО развивалась в значительной степени самостоятельно. Основное проявление этой изоляции – значительное влияние принципов санитарно-гигиенического нормирования, распространившееся в конечном итоге и на те аспекты обращения с РАО, где непосредственное воздействие на человека не было критичным фактором. Процессы гармонизации отечественной системы регулирования безопасности при использовании атомной энергии с международными практиками ускорились со второй половины 1990-х гг. в связи с ратификацией «Конвенции о ядерной безопасности» и вступлением в силу ФЗ «Об использовании атомной энергии». К началу XXI века произошло значимое усиление экологического сознания, в полной мере был осознан масштаб проблем в области обращения с РАО. Одним из первых примеров стратегического подхода к проблемам обращения с РАО стал утвержденный в 2003 г. Министром Российской Федерации по атомной энергии «Комплексный план мероприятий по обеспечению решения экологических проблем, связанных с текущей и прошлой деятельностью ФГУП «ПО «Маяк».

Полноценным образом переход к единой с международным сообществом позиции в понимании необходимости и путей решения проблем обращения с РАО и ОЯТ был зафиксирован в 2005 г., когда Россия ратифицировала «Объединенную конвенцию по безопасности обращения с ОЯТ и безопасности обращения с РАО». Опыт подготовки и международного обсуждения Национальных докладов по обязательствам России, вытекающим из этой Конвенции, показывает отсутствие значимых несоответствий. Единственным исключением стала уникальная практика захоронения ЖРО, которая потребовала организации в 2013 г. специальной Миссии МАГАТЭ по оценке подходов, используемых для обоснования безопасности.

### **3.1 Нормирование радиоактивных выбросов**

В рамках реализации своих полномочий Ростехнадзор приказом от 7 ноября 2012 г. № 639 (зарегистрирован в Минюсте России 18 января 2013 года, регистрационный № 26595) утвердил «Методику разработки и установления нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух» [Методика, 2012] (далее – Методика), в которой установлен порядок разработки и установления нормативов ПДВ радиоактивных веществ в атмосферный воздух.

Действие Методики [Методика, 2012] распространяется на организации, эксплуатирующие объекты, представляющие собой стационарные источники выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух, в том числе эксплуатирующие организации объектов использования атомной энергии для условий их нормальной эксплуатации и иные организации, эксплуатирующие промышленные объекты, не являющиеся ОИАЭ, но производящие выбросы радиоактивных веществ в атмосферный воздух. Методика [Методика, 2012] не распространяется на передвижные источники выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух.

Согласно Методике, нормативы ПДВ устанавливаются для конкретного стационарного источника выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух и организации в целом, для всех радионуклидов, входящих в состав выбросов источников и включенных в перечень радионуклидов, подлежащих учету и нормированию, в соответствии с положениями Приказа Минприроды России № 579 «О порядке установления источников выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух, подлежащих государственному учёту и нормированию, и о перечне вредных (загрязняющих) веществ, подлежащих государственному учёту и нормированию» [Приказ, 2010]. После выхода Распоряжения Правительства РФ от 8 июля 2015 г. N 1316-р «Перечень загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды» [Распоряжение, 2015] естественным образом нормативы ПДВ устанавливаются для тех радионуклидов, которые вошли в указанный Перечень.

Два других требования Приказа Минприроды № 579 остались в силе [Приказ, 2010]:

1) государственному учёту и нормированию подлежат только такие источники, суммарный выброс которых может создать без учёта рассеивания индивидуальную годовую эффективную дозу более 10 мкЗв;

2) допускается не учитывать радиоактивные вещества, выбрасываемые из источника выбросов, если их суммарный вклад в годовую эффективную дозу облучения лиц из критической группы населения составляет менее 1%.

Таким образом, нормативы требуется устанавливать для широкого перечня источников выбросов, характеризующихся различными геометриями, конструктивными особенностями, временными режимами выброса и механизмами, приводящими к поступлению активностей в атмосферный воздух.

Основным нормативным ограничением, в целях соблюдения которого разработана Методика [Методика, 2012], является установленные в статье 9 Федерального закона от 09.01.1996 г. № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения» [Федеральный, 1996] допустимые пределы годовых доз облучения населения в результате использования источников ионизирующего излучения на территории Российской Федерации, а также допустимые пределы эквивалентных доз облучения кожи, хрусталика глаза, кистей и стоп, установленные в таблице 3.1 СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)» [НРБ, 2009].

Для недопущения превышения дозового предела техногенного облучения населения, подвергающегося облучению от нескольких радиационных объектов различных категорий или от радиационного объекта I категории, устанавливаются квоты на облучение населения, что регламентируется пунктом 3.4 Постановления Главного государственного санитарного врача РФ от 29.05.2007 № 30 «Об утверждении Санитарных правил СП 2.6.1.2216-07 «Санитарно-защитные зоны и зоны наблюдения радиационных объектов. Условия эксплуатации и обоснование границ» [СП, 2007]. При этом в соответствии с вышеупомянутым пунктом, сумма квот от различных источников излучения не должна превышать дозового предела облучения населения.

По этим причинам одним из критериев, использованных в Методике [Методика, 2012] при установлении нормативов ПДВ, является не превышение дозовой квоты, выделенной для организации. Де-факто установление квот регулируется органами Государственного санитарно-эпидемиологического надзора, примером чего являются документы СанПиН 2.6.1.24-03 «Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций (СП АС-03)» [СанПиН, 2004], а также ПДВ АС-2013 [Методика, 2013].

В соответствии с [Федеральный, 2002] основными принципами охраны окружающей среды являются обеспечение сохранения благоприятных условий жизнедеятельности человека и устойчивого функционирования естественных экологических систем, природных и природно-антропогенных объектов, а также сохранение биологического видового разнообразия.

В целях реализации данных принципов в Методике [Методика, 2012] установлена необходимость соблюдения соотношения:

$$U_{r,l} = \sum_i U_{i,r,l} \leq \text{ППВ}_{r,l} \quad (3.1)$$

где  $U_{r,l}$  – показатель негативного воздействия ( $l$ -го типа) радиационного загрязнения окружающей среды  $r$ -тым радионуклидом на экологические системы, природные и природно-антропогенные объекты;

$U_{i,r,l}$  – вклад в это негативное воздействие от  $i$ -го источника;

$\text{ППВ}_{r,l}$  – предел приемлемого воздействия  $l$ -го типа на экологические системы, природные и природно-антропогенные объекты.

Под  $\text{ППВ}_{r,l}$  в Методике понимаются различные уровни содержания радионуклидов в компонентах окружающей среды, на которые установлено ограничение, например, как крайний случай удельная активность  $r$ -го радионуклида, допускающая неограниченное использование загрязнённых им твёрдых материалов – УАНИ <sub>$r$</sub> , определённая согласно приложению № 3 к

СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)» [СП, 2010]. Однако такая трактовка не совсем верна между уровнями, допускающими неограниченное использование и пределами приемлемого воздействия в большинстве случаев довольно большая дистанция. В качестве  $ППВ_{r,i}$  можно рассматривать накопление  $r$ -го радионуклида в продуктах питания [СанПиН, 2001] с учётом способа их получения, воде источников питьевого водоснабжения [НРБ, 2009] и др. Следует также отметить, что в настоящее время вышеупомянутые уровни содержания радионуклидов в компонентах окружающей среды (почве, воде пресной и морской) какими-либо нормативными правовыми актами не установлены.

В соответствии с Методикой ПДВ  $r$ -го радионуклида, выбрасываемого из  $i$ -го источника, определяется с помощью следующего соотношения:

$$ПДВ^{r,i} = \min(ПДВ_{eff}^{r,i}, ПДВ_{eq,кожа}^{r,i}, ПДВ_{хрусталик}^{r,i}, ПДВ_{eq,кисти}^{r,i}, ПДВ_{eq,стопы}^{r,i}), \quad (3.2)$$

где

$ПДВ_{eff}^{r,i}$  – нормативы ПДВ, рассчитанные исходя из непревышения части предела годовой эффективной дозы;

$ПДВ_{eq,кожа}^{r,i}$  – нормативы ПДВ, рассчитанные исходя из непревышения части предела годовой эквивалентной дозы в коже;

$ПДВ_{eq,хрусталик}^{r,i}$  – нормативы ПДВ, рассчитанные исходя из непревышения части предела годовой эквивалентной дозы в хрусталике глаза;

$ПДВ_{eq,кисти}^{r,i}$  – нормативы ПДВ, рассчитанные исходя из непревышения части предела годовой эквивалентной дозы в кистях;

$ПДВ_{eq,стопы}^{r,i}$  – нормативы ПДВ, рассчитанные исходя из непревышения части предела годовой эквивалентной дозы в стопах.

Нормативы  $ПДВ_{r,ieff}$  и  $ПДВ_{r,iek}$  (где  $k$  – индекс органа или ткани, принимающий значения: 1 - для кожи, 2 – для хрусталика глаза, 3 – для кистей, 4 – для стоп) в соответствии с Методикой определяются следующим образом [Методика, 2012]:

$$ПДВ_{eff}^{r,i} = \frac{\xi_{r,i} \cdot \delta}{\sum_r \xi_r \cdot \Psi_{r,i}(x^{\max}, y^{\max})}; \quad (3.3)$$

$$ПДВ_{eq,k}^{r,i} = \frac{\xi_{r,i} \cdot \delta_k}{\sum_r \xi_{r,i} \cdot \Psi_{r,i}^{eq,k}(x_k^{\max}, y_k^{\max})}, \quad (3.4)$$

где  $\xi_{r,i}$  - относительный вклад каждого радионуклида  $r$  в общую активность его выброса из  $i$ -го источника, определяемый по формуле (3.5):

$$\xi_{r,i} = \frac{Q_{r,i}}{\sum_r Q_{r,i}}, \quad (3.5)$$

$Q_{r,i}$  – выброс  $r$ -го радионуклида из  $i$ -го источника;

$\delta$  – часть предела эффективной дозы для лиц из населения, Зв/год;

$\delta_k$  – часть предела эквивалентной дозы в хрусталике глаза, коже, кистях и стопах соответственно, Зв/год, рассчитываемая (в случае, если она не установлена органами, осуществляющими санитарно-эпидемиологический надзор) по формуле (3.6):

$$\delta_k = \delta \cdot \frac{ПД_k}{ПД}, \quad (3.6)$$

$ПД$  – предел годовой эффективной дозы для населения, Зв/год;

$ПД_k$  – предел годовой эквивалентной дозы в  $k$ -ом органе или ткани для населения в соответствии с таблицей 3.1 [НРБ, 2009];

$x^{max}$  и  $y^{max}$  – декартовы координаты точки максимума годовой эффективной дозы, м;

$x_k^{max}$  и  $y_k^{max}$  – декартовы координаты точек максимума эквивалентной дозы в хрусталике глаза, коже, кистях и стопах, м;

$\Psi_{r,i}(x, y)$ ,  $\Psi_{r,i}^{eq,k}(x, y)$  - функции перехода, связывающая активность выброса с годовой эффективной дозой облучения населения или с эквивалентной дозой в  $k$ -ом органе или ткани, зависящие от декартовых координат, и определенные соотношениями:

$$\Psi_{r,i}(x, y) = \hat{A}((x, n) \rightarrow (x, y)) \Psi_{r,i}(x, n), \quad (3.7)$$

$$\Psi_{r,i}^{eq,k}(x, y) = \hat{A}((x, n) \rightarrow (x, y)) \Psi_{r,i}^{eq,k}(x, n), \quad (3.8)$$

где  $\hat{A}((x, n) \rightarrow (x, y))$  - оператор преобразования набора координат «расстояние от источника, направление»  $(x, n)$  в набор декартовых координат  $(x, y)$ .

Характерной особенностью Методики является то, что в ней отсутствуют требования к методам расчёта параметров, характеризующих рассеяние примеси в атмосфере, переход радионуклидов из почвы, воды и донных отложений в первичные автотрофные виды биоты и их дальнейшую миграцию по пищевым цепочкам, а также формирование дозовых нагрузок. Таким образом, эти методы, под которыми понимаются используемые модели и исходные данные, а, следовательно, и степень их консервативности, выбираются и обосновываются разработчиком нормативов самостоятельно. С учётом достигнутого уровня науки и техники, для выполнения требований Методики можно использовать приведённые в Приложении 1 методы расчетов.

В Методике [Методика, 2012] описаны обязательные базовые принципы и подходы к установлению нормативов ПДВ радионуклидов. В то же время, в ней отсутствует описание конкретных количественных методов расчёта рассеяния примеси в атмосфере, не приведены численные значения параметров перехода радионуклидов из атмосферных выпадений в продукты питания и других характеристик, необходимых для выполнения расчетов доз облучения населения. Для организаций ГК «Росатом» и ОАО «Концерн Росэнергоатом», осуществляющих выбросы из стационарных (организованных) источников, конкретные методы количественных расчетов ПДВ радионуклидов в атмосферный воздух изложены в таких документах, как «Методические рекомендации по расчету нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ из организованных источников в атмосферный воздух применительно для организаций ГК «Росатом» (утв. 15.07.2014 г. № 1-1/310-Р) [Методические, 2014] и «Методика расчета предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ с атомных станций в атмосферу» (МТ 1.2.5.05.0161-2013, утв. 12.08.2013 г. № 9/733-П) [Методика, 2013], соответственно.



## 3.2 Нормирование радиоактивных сбросов

При разработке нормативов ДС должен быть учтен ряд положений, установленных в законодательстве Российской Федерации в области обеспечения радиационной безопасности, а также в области обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения и в области охраны окружающей среды.

Первым критерием, который должен учитываться при разработке нормативов ДС, так же как и при разработке нормативов ПДВ (раздел 3.1), является не превышение дозового предела облучения населения.

Ещё один критерий, который должен быть учтен при установлении нормативов ДС, связан с требованием обеспечения надежной изоляции ТРО от окружающей среды, установленным в разделе 2 НП-058-04 [НП, 2004]. Таким критерием являются установленные Постановлением Правительства РФ от 19.10.2012 № 1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов» [Постановление, 2012] предельные значения удельной активности радионуклидов (ПЗУА).

С целью недопущения достижения ПЗУА радионуклидов в донных отложениях для случая, когда сброс в один водный объект осуществляется несколькими организациями, а также для сохранения возможности функционирования вновь размещаемых предприятий, целесообразно принимать в качестве критерия установления нормативов ДС недопустимость превышения активности донных отложений величин удельной активности техногенных радионуклидов, при которой допускается неограниченное использование материалов (далее – УАНИ), за счет сбросов одной организации. Для техногенных радионуклидов значения УАНИ установлены в приложении 3 к ОСПОРБ-99/2010 [СП, 2010], а для естественных в таблице I-1 документа МАГАТЭ [General, 2011].

В соответствии с положениями, относящимися к охране окружающей среды при обращении с отходами производства и потребления, установленными статьей 51 [Федеральный, 2002], запрещается сброс отходов производства и потребления, в том числе радиоактивных отходов, в поверхностные и подземные водные объекты, на водосборные площади, в недра и на почву. В связи с этим, с учётом критериев отнесения жидких отходов к радиоактивным отходам, установленных в Постановлении Правительства № 1069 [Постановление, 2012], величина удельной активности  $r$ -го радионуклида в сбрасываемой жидкости не должна превышать десять процентов от установленного минимального значения удельной активности данного радионуклида в отходах, на основании которого жидкие отходы относятся к радиоактивным отходам.

В случае если водный объект, в который осуществляется сброс радиоактивных веществ, используется для целей питьевого водоснабжения, то, в соответствии с пунктом 5.2.4 [НРБ, 2009], необходимо соблюдение требования о не превышении допустимых значений содержания радионуклидов в питьевой воде, установленных в приложении 2а к НРБ-99/2009.

Таким образом, для выполнения вышеприведенных требований, норматив ДС  $r$ -го радионуклида через  $n$ -й источник сброса ( $n=1..N$ ) для каждого из  $N$  источников сброса целесообразно рассчитывать по формуле:

$$ДС_{r,n} = \min(ДС_{r,n}^{доз}, ДС_{r,n}^{ПВ}, ДС_{r,n}^{ДО}, ДС_{r,n}^{ОА}), \text{ где} \quad (3.9)$$

$ДС_{r,n}^{доз}$  — максимальная величина сброса  $r$ -го радионуклида через  $n$ -ый источник сброса, при которой не превышает установленная для организации дозовая квота  $\delta$  на облучение критической группы лиц из населения за счет сбросов в водные объекты из всех источников сброса организации по всем путям воздействия, связанным с использованием этих водных объектов, Бк/год;

$ДС_{r,n}^{ПВ}$  — максимальная величина сброса  $r$ -го радионуклида через  $n$ -ый источник сброса, при которой не превышаются установленные в НРБ-99/2009 [НРБ, 2009] уровни вмешательства по содержанию радионуклидов в питьевой воде, Бк/год;

$ДС_{r,n}^{ДО}$  — максимальная величина сброса  $r$ -го радионуклида через  $n$ -ый источник сброса, при которой величина удельной активности  $r$ -го радионуклида в донных отложениях (в нативном виде) водного объекта, в который осуществляется сброс, не превысит за время эксплуатации ИИИ для техногенных радионуклидов – значения удельной активности этого радионуклида, допускающего неограниченное использование твердых материалов (далее — УАНИ<sup>7</sup>), приведенного в приложении № 3 ОСПОРБ -99/2010 [СП, 2010];

$ДС_{r,n}^{ОА}$  — максимальная величина сброса  $r$ -го радионуклида через  $n$ -ый источник сброса, Бк/год, при которой величина удельной активности  $r$ -го радионуклида в непосредственно сбрасываемой в водоем жидкости не превышает  $0,1 \cdot A_r^{PAO}$ , Бк/г, где

$A_r^{PAO}$  — минимальное значение удельной активности данного радионуклида в отходах, на основании которого жидкие отходы относятся к радиоактивным отходам, установленное в [НП, 2004], то есть выполняется соотношение:

$$ДС_{r,n}^{ОА} \leq V_{\min,r} \cdot A_r^{PAO} \cdot 10^5, \quad (3.10)$$

где  $V_{\min,n}$  — минимальный годовой объем сброса через  $n$ -ый источник сброса, м<sup>3</sup>/год, при одновременном непревышении удельной активности радионуклидов в сбросе значений  $0,1 \cdot A_r^{PAO}$ , что гарантированно обеспечивает выполнение запрета на сброс жидких радиоактивных отходов в окружающую среду, установленного в [Федеральный, 2002].

Для установления нормативов ДС первоначально необходимо выполнить следующие операции:

- используя план местности, выполнить условное разбиение водной системы на типовые элементы;
- по данным изысканий определить гидрологические характеристики водной системы, виды водопользования водной системы, а также радиоэкологические характеристики;
- выделить все участки акватории каждого водного объекта, входящего в состав водной системы, либо прилегающие к водному объекту участки территории, на которых осуществляется использование этих водных объектов (водопользование), приводящее к облучению лиц из населения (далее – критические участки).

Нормативы  $ДС_{r,n}^{ПВ}$  рассчитываются по формуле:

$$ДС_{r,n}^{ПВ} = 10^3 \cdot \frac{УВ_r}{\Phi_{r,n}}, \quad \text{где} \quad (3.11)$$

$УВ_r$  — уровни вмешательства по содержанию радионуклидов в питьевой воде, принимаемые в соответствии с [НРБ, 2009] в Бк/м<sup>3</sup>;

$\Phi_{r,n}$  — фактор разбавления  $r$ -го радионуклида, сбрасываемого из  $n$ -го источника, год · м<sup>-3</sup>.

Нормативы  $ДС_{r,n}^{ДО}$  рассчитываются по формуле:

<sup>7</sup> Или ПЗУА или величину, расположенную между УАНИ и ПЗУА

$$ДС_{r,n}^{ДО} = \min_l \left( \frac{УАНИ_r}{0,1 \cdot K_{нд,r,l} \cdot (1 + S_s \cdot K_{нд,r,l})^{-1} \cdot \frac{1 - e^{-\lambda_r T}}{\lambda_r \cdot T_e} \cdot \Phi_{r,n,l}} \right), \text{ где} \quad (3.12)$$

$\Phi_{r,n,l}$  — фактор разбавления для  $n$ -ого источника сброса по отношению к  $l$ -тому критическому участку, год/м<sup>3</sup>;

$K_{нд,i,l}$  — коэффициент межфазного распределения радионуклида  $r$  между водой и донными отложениями на  $l$ -том критическом участке (можно использовать данные из таблицы VI [Generic, 2000]), м<sup>3</sup>/кг;

$l$  — номер критического участка;

$S_s$  — концентрация взвеси донных отложений в водном объекте (определяется на основе натуральных исследований);

$T_e$  — эффективное время накопления радионуклида в донных отложениях водного объекта (можно принимать данный параметр равным одному году);

$\lambda_r$  — постоянная распада  $r$ -го радионуклида, с<sup>-1</sup>.

Нормативы  $ДС_{r,n}^{доз}$  радионуклида  $r$  из  $n$ -го источника можно рассчитать по формуле:

$$ДС_{r,n}^{доз} = \frac{1}{\sum_j \frac{\Phi_{r,n,j}}{МУА_{r,n}^j}}, \quad \text{где} \quad (3.13)$$

$\Phi_{r,n,j}$  — фактор разбавления для  $r$ -го радионуклида из  $n$ -го источника сброса на критическом участке для  $j$ -го пути облучения критической группы лиц из населения, год/м<sup>3</sup>;

$МУА_{r,n}^j$  — максимальная среднегодовая удельная активность в воде  $r$ -го радионуклида из  $n$ -ого источника сброса на критическом участке для  $j$ -го пути облучения критической группы лиц из населения, при которой не превышает установленная для организации годовая дозовая квота  $\delta$  от предела дозы, Бк/м<sup>3</sup>.

Кроме того, при расчете нормативов ДС организации учет сбросов других организаций в данную водную систему не требуется, так как каждая организация осуществляет сбросы в рамках выделенной для нее дозовой квоты  $\delta$ .

Выделяют следующие пути облучения критической группы лиц из населения:

- 1) внешнее облучение за счет купания;
- 2) внешнее облучение за счет рыболовства;
- 3) внешнее облучение за счет пребывания на пляжах;
- 4) внешнее облучение за счет пребывания в поймах рек;
- 5) внешнее облучение за счет пребывания на орошаемых территориях;
- 6) внутреннее облучение за счет потребления рыбы, выловленной из водоема, в который осуществляется сброс;
- 7) внутреннее облучение за счет потребления овощей с орошаемых сельскохозяйственных угодий;

- 8) внутреннее облучение, обусловленное потреблением мяса скота, в организм которого радионуклид попадает за счет водопоя;
- 9) внутреннее облучение, обусловленное потреблением молока скота, в организм которого радионуклид попадает за счет водопоя;
- 10) внутреннее облучение, обусловленное потреблением мяса скота, в организм которого радионуклид попадает за счет его выпаса на орошаемых землях;
- 11) внутреннее облучение, обусловленное потреблением молока скота, в организм которого радионуклид попадает за счет его выпаса на орошаемых землях;
- 12) внутреннее облучение, обусловленное заглатыванием воды при купании.

При расчете ДС и отдельных параметров можно использовать, в частности, соотношения, приведенные в Приложении 2.

### **3.3 Нормирование в сфере обращения с РАО**

На протяжении всего периода существования атомной промышленности от появления в практической деятельности значительных количеств РАО (1948 год) до вступления в силу закона «Об обращении с РАО» [Федеральный, 2011] в нормативных актах, посвященных регулированию различных вопросов обращения с РАО, акцентировалось внимание на безопасности персонала, а иногда затрагивалась и радиационная безопасность населения. При этом эволюционное развитие систем классификации РАО для различных целей и санитарных правил по безопасному обращению с ними иногда сопровождалось возмущениями: как, например, при утверждении ОСПОРБ-1999/2010, где было предложено установление единой границы отнесения к РАО для твердых, жидких и газообразных отходов. В последующем это недоразумение было устранено. Особенности формирования системы обеспечения безопасности обращения с РАО в России детально рассмотрено в работе [Проблемы, 2013]. Некоторые из проблемных моментов, отмеченных в этой работе, уже устранены, а некоторые проявляют себя во все большей степени. По этой причине краткое описание существующей системы нормирования при обращении с РАО будет сделано только по отдельным позициям, сопровождаясь фиксацией проблемных зон или не в полной мере активированных возможностей.

Образование РАО в смысле прямых ограничений по объемам не нормируется. Федеральным законом предусмотрено установление экономических стимулов к снижению объемов в форме оплаты захоронения, которое осуществляется на основе тарифов либо по факту прямой передачи РАО на захоронение, либо (для группы предприятий, отнесенных к организациям, эксплуатирующим особо радиационно опасные и ядерно опасные производства и объекты) - на основе прогнозов образования РАО различных классов.

Отнесение всех радиационно загрязненных веществ, материалов и изделий к РАО не обязательно и в принципе нецелесообразно. Для эксплуатирующих организаций законом (ст. 21) вменена обязанность ежегодно определять возможность дальнейшего использования образующихся в результате их деятельности материалов, веществ, оборудования, изделий, содержание радионуклидов в которых превышает уровни, установленные в соответствии с критериями отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к РАО, и относить их к РАО только в случае невозможности дальнейшего использования. Это обстоятельство определяет коренное отличие РАО как веществ инвариантного статуса от иных видов отходов производства и потребления, которые будучи отходами для одних организаций или технологий могут использоваться в других (один из последних примеров и при этом имеющих отношение к РАО – использование гипсофосфатов как отходов от новой основной деятельности гидromеталлургического завода (г. Лермонтов) для рекультивации хвостохранилищ, оставшихся от прежней деятельности).

Если это РАО, то они должны направляться на захоронение во всех случаях, кроме предусмотренных частью 1 ст. 12, которая гласит, что РАО, за исключением короткоживущих

РАО, удельная активность которых в результате распада радионуклидов за время хранения может быть снижена до уровня, при котором такие отходы перестают быть РАО, подлежат обязательному захоронению в пунктах захоронения РАО. К сожалению, эта норма не получила своего развития в приказе Госкорпорации «Росатом» от 7 июля 2014 г. N 1/24-НПА г. "Об утверждении сроков промежуточного хранения радиоактивных отходов и объемов таких отходов для организаций, эксплуатирующих особо радиационно опасные и ядерно опасные производства и объекты". Приказом предусмотрено установление единого срока (десять лет) для всех отходов кроме отходов класса 5, для которых установлен один год.

Вопросам обеспечения безопасности при обращении с РАО посвящен большой блок федеральных норм и правил, обзор которых приведен в комментарии к статье 8 закона, представленном в системе ГАРАНТ.

Сама по себе ориентация на захоронение РАО уже вносит существенный вклад в концепцию безопасности при обращении с РАО, а в совокупности с конкретными требованиями по безопасности хранения, транспортирования и захоронения РАО практически полностью исключают возможность радиационного воздействия на население. Определенным отражением этого обстоятельства является содержание п. 5.3.2. НРБ-99/2009, в котором РАО не указывается как отдельная компонента источника облучения населения. Тем не менее, в ОСПОРБ-99 и ОСПОРБ 99/2010, указывалась величина эффективной дозы облучения населения, обусловленная обращением с радиоактивными отходами, которая не должна превышать 10 мкЗв/год. В последней редакции ОСПОРБ-99/2010 (изменения от 2013 года) этот пункт правил излагается иначе: «Годовая эффективная доза облучения критической группы населения при всех видах обращения с радиоактивными отходами до их захоронения не должна превышать 0,1 мЗв. Годовая эффективная доза облучения критической группы населения за счет радиоактивных отходов после их захоронения не должна превышать 0,01 мЗв». Принятые технологии обращения с РАО в совокупности требованиями безопасности захоронения позволяют эти ограничения облучения населения в полной мере реализовывать. При этом возникают определенные трудности с расчетным обоснованием и его экспериментальной проверкой. Сценарии облучения становятся все менее реальными, а оценки – все более консервативными. Экспериментальной возможности проверки этих сценариев и оценок практически нет, а использование моделей в силу большого числа параметров с широким диапазоном вариабельности значений не всегда эффективно.

Трудности расчета доз облучения еще более увеличиваются, когда речь идет о длительных периодах времени, связанных с периодом потенциальной опасности отходов. В этом плане важен опыт практического применения критериев отнесения РАО к особым РАО [Постановление, 2012], которыми предусмотрено рассмотрение следующих соотношений:

- 1) коллективная эффективная доза облучения за весь период потенциальной опасности РАО, связанная с удалением РАО, превышает коллективную эффективную дозу облучения за весь период потенциальной опасности, связанную с захоронением РАО в месте их нахождения;
- 2) риск потенциального облучения, связанный с удалением РАО, превышает риск потенциального облучения, связанный с захоронением РАО в месте их нахождения;
- 3) расходы, связанные с удалением РАО (включая расходы на их извлечение, переработку, кондиционирование, перевозку к пункту захоронения и захоронение), превышают совокупный размер возможного вреда окружающей среде и расходы в случае захоронения таких РАО в месте их нахождения (включая расходы на перевод пункта хранения радиоактивных отходов в пункт захоронения радиоактивных отходов, его эксплуатацию и закрытие, на обеспечение безопасности в течение всего периода потенциальной опасности радиоактивных отходов).

При возникновении подобных задач оценки доз на весь период потенциальной опасности, потенциальных рисков и возможного вреда окружающей среде может быть применен опыт, накопленный в ходе первичной регистрации радиоактивных отходов [Научно-техническое, 2014].

Отдельная группа вопросов связана с установленной классификацией РАО для захоронения [Постановление, 2012]. Несмотря на то, что они выходят за рамки данной монографии и

интересны, главным образом, ФГУП «Национальный оператор по обращению с РАО», на одной из главных проблем все же остановимся. Она заключается в отсутствии в основе этой классификации четкого и единственного признака, по которому можно было бы осуществить последовательное и непротиворечивое деление РАО. Так, при отнесении веществ, содержащих радионуклиды, к РАО (а это первый уровень классификации) используется методология, в основе которой – доказательство безопасности при обращении с веществом как набором отдельных радионуклидов по наиболее вероятным сценариям, включая и захоронение. В итоге каждому радионуклиду соответствует свое значение удельной активности. На следующих же уровнях классификации используется методология, в основе которой – доказательство безопасности при обращении с РАО как с целым, причем как таковых сценариев не рассматривается вообще, а речь идет о необходимости применения тех или иных средств радиационной защиты. В итоге для всех нуклидов одного класса устанавливается одно и то же значение удельной активности. Как следствие такого подхода для ряда радионуклидов (С-14, С1-36, Са-45, Ni-63 и др.) складывается парадоксальная ситуация: РАО, содержащие такие радионуклиды с удельной активностью, даже незначительно превышающей МЗУА, автоматически должны быть отнесены к классу 2 (подлежат захоронению в пунктах глубинного захоронения).

Отметим, что эти недостатки классификации отражаются исключительно на экономике захоронения, но не на показателях безопасности РАО для населения и окружающей среды. Однако и это в определенной мере противоречит базовым принципам радиационной защиты.

### **Выводы и практические рекомендации**

1. В соответствии с федеральным законодательством в области охраны окружающей среды, выбросы и сбросы радиоактивных веществ допускается осуществлять в рамках установленных нормативов предельно допустимых выбросов и нормативов допустимых сбросов и только на основании разрешений, выданных органами исполнительной власти, осуществляющими государственное управление в области охраны окружающей среды. С 2010 г. ответственной за выполнение государственных функций по установлению нормативов ПДВ радиоактивных веществ в атмосферный воздух и нормативов ДС в водные объекты, а также по выдаче разрешений на выбросы и сбросы радиоактивных веществ назначена Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор).
2. Нормативы ПДВ устанавливаются для стационарных источников выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух и организации в целом, для всех радионуклидов, входящих в состав выбросов источников и включенных в перечень радионуклидов, подлежащих учету и нормированию в соответствии с Распоряжением Правительства РФ от 8 июля 2015 г. № 1316-р «Перечень загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды» и с учетом положений Приказа Минприроды № 579 (государственному учёту и нормированию подлежат только такие источники, суммарный выброс которых может создать без учёта рассеивания индивидуальную годовую эффективную дозу более 10 мкЗв; допускается не учитывать радиоактивные вещества, выбрасываемые из источника выбросов, если их суммарный вклад в годовую эффективную дозу облучения лиц из критической группы населения составляет менее 1%).
3. Критериями для установления нормативов ПДВ радионуклидов в атмосферный воздух в Методике Ростехнадзора являются: непревышение годовой дозовой квоты, выделенной организации (устанавливается органами Государственного санитарно-эпидемиологического надзора); обеспечение сохранения благоприятных условий жизнедеятельности человека и устойчивого функционирования естественных экологических систем, природных и природно-антропогенных объектов, а также сохранение биологического видового разнообразия.

4. При расчетах допустимых сбросов радионуклидов в окружающую среду необходимо одновременное соблюдение выполнения четырех критериев: непревышение годовой дозовой квоты для сбросов радионуклидов в водные объекты; недопустимость превышения активности донных отложений величин удельной активности техногенных радионуклидов, при которой допускается неограниченное использование материалов (УАНИ), за счет сбросов одной организации; запрет сброса радиоактивных отходов, в поверхностные и подземные водные объекты, на водосборные площади, в недра и на почву; соблюдение требования о непревышении допустимых значений содержания радионуклидов в воде водного объекта, использующегося для питьевого водоснабжения.
5. Порядок утверждения нормативов ДС радиоактивных веществ в водные объекты определяется постановлением Правительства от 23 июля 2007 года № 469 «О порядке утверждения нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей», в соответствии с которым нормативы ДС утверждаются Ростехнадзором по согласованию с Федеральным агентством водных ресурсов, Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека и Федеральным агентством по рыболовству.

### **Список использованных источников**

- 1 General Safety Requirements Part 3 No.- GSR Part 3 (Interim). -IAEA, 2011.
- 2 Generic Models for use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment/ Safety Reports.- Series № 19.-Vienna: IAEA, 2000.
- 3 Методика разработки и установления нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух, утверждена приказом Ростехнадзора от 7 ноября 2012 г. № 639 (зарегистрирована в Минюсте России 18 января 2013 года, регистрационный № 26595).
- 4 Методика расчета предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ с атомных станций в атмосферу (ПДВ АС-2013), утвержденная первым заместителем Генерального директора ОАО «Концерн Росэнергоатом» В.Г. Асмоловым 12.08.2013 г. № 9/733-П, МТ 1.2.5.05.0161-2013.
- 5 Методические рекомендации по расчету нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ из организованных источников в атмосферный воздух применительно для организаций Госкорпорации «Росатом», утв. распоряжением ГК Росатом от 15.07.2014 № 1-1/310-Р.
- 6 Научно-техническое пособие по подготовке обосновывающих материалов для принятия решения об отнесении радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам. Версия 2.0.48 Абалкина И.Л., Барчуков В.Г., Бочкарев В.В., Ведерникова М.В., Дорогов В.И., Кочетков О.А., Крышев И.И., Линге И.И., Панченко С.В. Савкин М.Н., Уткин С.С. под общей ред. Линге И.И., ИБРАЭ РАН, 2014, 157 с.
- 7 НП-058-04 «Безопасность при обращении с радиоактивными отходами. Общие положения», утвержденные постановлением Ростехнадзора от 31 декабря 2004 г. № 15.
- 8 НРБ 2009. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. - 100 с.
- 9 Постановление Правительства Российской Федерации от 13.09.2010 г. № 717 «О внесении изменений в некоторые Постановления Правительства Российской Федерации по вопросам полномочий Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, Федеральной службы по надзору в сфере природопользования и Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору».
- 10 Постановление Правительства Российской Федерации от 19 октября 2012 г. № 1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам,

критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам, и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов».

- 11 Постановление Правительства Российской Федерации от 2 марта 2000 г. № 183 «О нормативах выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух и вредных физических воздействий на него».
- 12 Постановление Правительства Российской Федерации от 23 июля 2007 г. № 469 «О порядке утверждения нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей».
- 13 Постановление Правительства Российской Федерации от 30 июля 2004 г. № 401 «О Федеральной службе по технологическому, экологическому и атомному надзору».
- 14 Приказ Минприроды России от 31 декабря 2010 г. № 579 «О порядке установления источников выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух, подлежащих государственному учету и нормированию, и о перечне вредных (загрязняющих) веществ, подлежащих государственному учету и нормированию».
- 15 Проблемы ядерного наследия и пути их решения. Том 2. Развитие системы обращения с радиоактивными отходами в России. Под общей ред. Большова Л.А., Крюкова О.В., Лаверова Н.П., Линге И.И. – ОАО «Энергопромалитика», тир. 300, М.: 2013, 392 с.
- 16 Распоряжение Правительства РФ от 8 июля 2015 г. N 1316-р «Перечень загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды».
- 17 СанПиН 2.3.2.1078-01 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов», утвержденные Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 06.11.2001 (зарегистрированы в Министерстве юстиции Российской Федерации 22 марта 2002 г., регистрационный № 3326).
- 18 СанПиН 2.6.1.24-03 «Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций» (СП АС-03). М.: 2004, 66 с.
- 19 СП 2.6.1.2216-07 «Санитарно-защитные зоны и зоны наблюдения радиационных объектов. Условия эксплуатации и обоснование границ», утвержденных постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 29.05.2007 № 30 (зарегистрированы Министерством юстиции Российской Федерации 27 июня 2007 г., регистрационный № 9727).
- 20 СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)», утвержденные Главным Государственным санитарным врачом Российской Федерации 26 апреля 2010 г. (зарегистрированы в Минюсте России 11 августа 2010 г., регистрационный № 18115).
- 21 Федеральный закон от 09.01.1996 г. № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения».
- 22 Федеральный закон от 10.02.2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды».
- 23 Федеральный закон от 11.07.2011 г. №190-ФЗ (ред. от 02.07.2013) «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».



## Глава 4 Экологическая безопасность и вопросы её практической оценки

Система управления радиоэкологической безопасностью является составной частью обеспечения экологической безопасности. Публикация открытых отчетов по экологической безопасности является важной составляющей политики ведущих отраслей и компаний, к которым без сомнения относится Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом» [Агапов и Грачев, 2011].

Широко распространенный термин — «*экологическая безопасность*» не нашел пока устойчивого и четкого понятийного определения в отечественных (и не только в отечественных) нормативных документах. По этой причине ограничимся рассмотрением нескольких аспектов, которые могут использоваться при рассмотрении вопроса об интенсивности и роли радиационного воздействия конкретного предприятия в конкретном регионе.

В качестве таких инструментов видится несколько, а именно:

- создание и ведение региональной базы радиоэкологических данных (БРД);
- создание расчетной модели радиационного воздействия предприятия с реконструкцией прошлых загрязнений и прогнозом на необходимый период времени;
- сравнительный анализ радиационных и химических рисков для населения;
- оценка рисков для биоты.

Вопросы создания радиоэкологической базы данных в совокупности с прототипом баз данных для всех крупных предприятий атомной отрасли в полном объеме раскрыты в издании [Радиационная, 2015]. Ведение радиоэкологической базы данных в том или ином формате может быть осуществлено непосредственно организацией. Однако предложенный в работе [Радиационная, 2015] единый формат дает определенное преимущество, поскольку позволяет получать необходимую информацию для отраслевых обобщений.

Создание расчетной модели радиационного воздействия предприятия с реконструкцией прошлых загрязнений и прогнозом на необходимый период позволит дополнить доказательную базу, основанную на результатах рутинных и зачастую дорогостоящих измерений как по радионуклидному составу, так и собственно данным на низких и сверхнизких уровнях концентраций. Создание подобных моделей и реконструкций требует значимого опыта и отработанных расчетных моделей с чрезвычайно широким объемом учитываемых факторов. Эти работы целесообразно заказывать специализированным организациям. Среди таких можно отметить НПО «Тайфун», ВНИИРАЭ, ИБРАЭ, ИГКЭ и др.

Опыт работ в области сравнительного анализа радиационных и химических рисков для населения еще существенно компактней. В России ИБРАЭ РАН совместно с НИИ им. Сырина было выполнено несколько проектов. Это обстоятельство во многом связано с тем, что анализ рисков, связанных с химическими загрязнителями, стал применяться существенно позже, а проблема многократно сложнее. В части радиоактивных веществ приходится оперировать с 297 изотопами (НРБ-99/2009) или с 373 изотопами, для работы с которыми предусмотрено лицензирование в случае, если активность радионуклидов в закрытых радионуклидных источниках превышает минимально лицензируемую активность — МЛА (ОСПОРБ-99/2010 с изменениями от 16 сентября 2013 г. № 43).

Для сравнения — Химической реферативной службой США (Chemical Abstracts Service<sup>8</sup>) в 2014 г. зарегистрировано 88 млн органических и неорганических химических соединений и 65 миллионов их производных. Более 310 тыс. химических веществ подлежат международному или национальному регулированию обращения на ведущих торговых рынках. 65 768 974 соединений

---

<sup>8</sup> Chemical Abstracts Service (CAS) является информационным подразделением Американского химического общества.

относятся к коммерчески доступным, реально используемым веществам. В разделах 4.2 и 4.3 рассмотрены вопросы методологии анализа рисков, и приведены конкретные примеры для нескольких регионов. Изложение материала дано в ограниченном объеме в связи с наличием фундаментальных работ отечественных авторов по данному вопросу [Онищенко и др., 2002].

В радиэкологии создание полномасштабных баз радиэкологических данных по регионам страны пока только находится в стадии обсуждения. Имеются отдельные фрагменты (исследовательские полигоны), и формируются представления о необходимых параметрах (БРД). В районах размещения ЯРОО создаются отдельные элементы этой базы, однако целостной национальной программы, как например, в отношении мониторинга за состоянием природных сред пока не разработано. В этих условиях основным инструментом оценки безопасности становятся расчетные модели оценок радиационного воздействия на биоту и человека и оценок сопутствующих рисков.

В разделе 4.1 представлен краткий обзор состояния разработки и применения расчетных моделей, сопряженных в конечном звене с оценками доз облучения человека и биоты.

#### **4.1 Модели для оценок радиационного воздействия на биоту**

Дозовые нагрузки ионизирующего излучения на представителей биоты и соответствующие им биологические эффекты стали предметом научных исследований сразу же вслед за открытием Рентгеном X-лучей. Вся история радиобиологии, а затем и радиэкологии связана с проблемой адекватной оценки радиационного воздействия. При этом почти столетие исследовательский интерес был связан с изучением всевозможных последствий действия ионизирующего излучения и в какой-то мере с механизмами взаимодействия излучения и живой материи. Успехи радиологии уже к середине 40-х годов XX века в принципе позволяли уверенно определить область между опасностью для жизни и теми рисками повреждений и ущерба, с которыми общество могло примириться. Следовало только определить, какое количество радиоактивного вещества (или энергии излучения) может дойти от источника до живого организма. Эту задачу должны были решить модели переноса. Если удавалось получить дозовые нагрузки много меньше или даже сопоставимые с теми, которые получает организм в естественных условиях, то безопасность являлась доказанной или почти доказанной. При этом защищенность человека не без серьезных оснований переносилась и на безопасность других живых объектов, будь то животные или растения. В отечественной библиографии эта мысль впервые нашла отражение в небольшом ротапринтном сборнике под редакцией В.М. Ключковского «О поведении радиоактивных продуктов деления в почвах, их поступлении в растения и накоплении в урожае» [О поведении, 1956]. Этот сборник ознаменовал публичное рождение новой дисциплины в СССР, а в самой работе В.М. Ключковским был сформулирован вывод, который, по образному выражению Р.М. Алексахина, стал парадигмой отечественной сельскохозяйственной радиэкологии применительно к радиационным авариям и событиям, сопровождаемым загрязнением сельхозугодий. Суть его в том, что при радиоактивном загрязнении сельскохозяйственной продукции приматом негативного воздействия является не поражение растений и животных, а загрязнение кормов и продукции, потребляемой человеком. Роль и значение этого вывода со временем трансформировалась в умах не только отечественных, но и зарубежных учёных (на базе множества исследований) в более широкое умозаключение, ставшее на определённое время парадигмой всей радиэкологии: «Защищён человек — защищена и вся природа».

Под знаменем этого вывода направление многих исследований замыкалось на оценке воздействия на человека. Целый пласт значимых задач по определению механизмов воздействия ионизирующего излучения на человека и целостные объекты окружающей среды (организмы) и возможных безопасных границ этого воздействия, благодаря этой парадигме, был по существу успешно решен еще в «докомпьютерную эру» на основе сравнительно несложных вычислений. Упрощенный подход к решению ряда практических задач позволял обосновывать порою достаточно сложные по современным представлениям проекты. Например, именно экологами

были обоснованы решения по поверхностным водоемам-хранилищам ЖРО [Тимофеева-Ресовская и др., 1960], но атмосфера уверенности в достаточной радиорезистентности человека и – тем более – объектов окружающей среды и безусловной возможности использования этого свойства для развития ядерных технологий позволяла многое.

Конечно, и в тот период задачи по оценке миграции радионуклидов в природных средах и по трофическим цепочкам остро стояли на повестке дня. В какой-то мере решения миграционных задач опирались на грамотно поставленные и сравнительно недорогие эксперименты. Задача упрощалась еще и тем, что ответы надо было искать сравнительно для немногочисленных и локализованных территорий.

Тогда же развитие технологий удержания радиоактивных веществ в ограниченном объеме позволяло с огромным запасом обеспечить радиационную защиту человека и окружающей среды. Такое положение давало возможность не только сравнительно безболезненно для экономики ужесточать нормативы сбросов и выбросов, но и рассчитывать их простыми аналитическими формулами, с опорой на быстро накапливаемую базу экспериментальных данных.

Развитие атомной энергетики, все более широкое использование радиоактивных источников в быту и промышленности одновременно с растущим пониманием того, что поведение широкого спектра радионуклидов отличается большим разнообразием в различных средах, заострило вопросы прогнозирования возможного воздействия, поскольку проведение экспериментальных наблюдений в большом количестве и в условиях низких концентраций становилось уже экономически нецелесообразным.

Радиобиологи, давшие огромный импульс развитию генетики, столкнулись в своих исследованиях с труднопреодолимым барьером описания механизмов воздействия на сложнейшие внутриклеточные структуры. В какой-то степени это было связано и с неоправдавшимися ожиданиями создать теоретическую биологию [Бауэр, 1935], построенной на постулате, что биологические объекты обладают особыми физическими свойствами. Биология стала развиваться в глубины живой материи, словно прорастающее семя своими корнями вглубь почвы. И во всех этих новых ответвлениях, ставших полноправными научными дисциплинами, радиация была, главным образом, инструментом, позволявшим идти вперед, но не предметом самого исследования. Вполне понятное стремление раскрыть тайны жизни стали естественной преградой для «популярной» в первой половине XX века радиации.

К тому же ядерные испытания выдвинули на первый план не изучение радиации, а становление такой, в общем-то прикладной дисциплины, как радиационная безопасность. Опираясь на несколько спорных постулатов, эта дисциплина приобрела огромное социальное звучание в период борьбы с гонкой ядерных вооружений. Сформировавшись организационно на мировом уровне, эта дисциплина выдвинула популярные для эпохи глобализма лозунги защиты сначала человеческой популяции, а затем и всей биосферы.

Конечно, новому и достаточно мощному направлению необходимы были свои научные исследования, нацеленные на выращенную озабоченность широких масс, и они появились в наиболее развитых странах, в первую очередь, тех, где развивались атомные технологии.

Начался период накопления экспериментальных данных и эмпирических обобщений, аналитическое выражение которых позволяло давать первые оценки возможным последствиям использования радиации в различных областях. Эти исследования охватывали и глобальное загрязнение биосферы и ситуации в районах расположения отдельных предприятий, в особенности тех, где существующие концентрации техногенных радионуклидов в природных средах многократно превышали фоновые уровни.

Коренным образом пересмотреть не только критерии радиозэкологической безопасности, но также и методы ее оценки и соответствующий расчетный инструментарий заставила авария на ЧАЭС. Несмотря на то, что даже в этих условиях было показано [Крупные, 2001], что эта авария, как, впрочем, и авария на японской АЭС «Фукусима-Дайичи» – больше социальная, внесшая практическую озабоченность, главным образом, в аграрный сектор, нежели радиационная, а

лучевые поражения – это очень узкая сфера, которая гораздо более актуальна для ранних лет деятельности радиохимических производств, чем для Чернобыля, вектор на развитие расчетных методов и средств оценки радиационного воздействия на человека и окружающую среду стал определяющим в целом ряде стран.

Наработки в моделирование отдельных процессов миграции по наиболее значимым для человека цепочкам стали интенсивно разрастаться в компьютерные коды, охватывающие уже гораздо больший спектр радиационных ситуаций. Каждая промышленно развитая страна считала своим долгом обзавестись такими кодами, которые во многом служили демонстрационным целям.

Кроме того на исходе второго тысячелетия, когда технологии, связанные с радиацией, стали неотъемлемой частью общего технического прогресса, вопрос об охране среды обитания приобрел совершенно новое звучание. Целый ряд программных международных документов, одобренных представителями разных стран, продекларировали, что охрана окружающей среды (как на локальном уровне, так и на биосферном), в частности, и от радиационного воздействия, имеет важное значение для обеспечения устойчивого развития цивилизации. Прежде всего, эта тенденция привела к дальнейшему ужесточению радиационных нормативов и дальнейшей стимуляции развития компьютерных кодов, направленных на рассмотрение сложных сценариев.

Обострение интереса к объектам живой природы нашло отражение в решениях ведущих международных организаций. МКРЗ инициировала разработку специальной программы исследований, в рамках которой на единой методической основе должны быть изучены закономерности формирования дозовых нагрузок, зависимостей доза – эффект и проведена оценка последствий радиационного воздействия у представителей флоры и фауны. Результаты работ, полученные в ходе таких систематических и всеобъемлющих исследований, предполагается в будущем использовать для обсуждения необходимости и возможности модификации системы радиационной защиты. Работа над созданием такой программы была фактически начата еще в 2000 г., когда МКРЗ образовала специальную Рабочую группу для выработки политики в отношении радиологической защиты окружающей среды. В задачу Рабочей группы также входила разработка соответствующей рамочной программы по оценке воздействия радиации на биоту на основе современных научных знаний и этико-философских принципов. Результатом деятельности Рабочей группы стала Публикация 91 МКРЗ «Рамочная программа разработки системы оценки радиационных эффектов у представителей флоры и фауны, за исключением человека» [ICRP, 2003].

В этой связи в 2004 году с целью улучшения оценки качества окружающей среды в различных странах МАГАТЭ была создана рабочая группа *Biota Working Group* (BWG) по анализу различных моделей и подходов, развиваемых национальными институтами, для оценок радиационного воздействия и возможного ущерба представителям отдельных видов растений и животных. Такой анализ можно было рассматривать как часть процесса регулирования и лицензирования, а также соблюдения требований по мониторингу за состоянием объектов окружающей среды. В состав этой группы вошли специалисты в области разработки моделей, исследователи, занимающиеся вопросами оценки радиационного воздействия, представители надзорных органов и промышленности.

Также в последнее десятилетие среди наиболее значительных инициатив МАГАТЭ в области охраны окружающей среды являлись программы: *Environmental Modelling for Radiation Safety — EMRAS* (2003-07) и *EMRAS II* (2009-11), которые были направлены на совершенствование методов оценки доз облучения биоты путем привлечения новых данных для тестирования и сравнения моделей, выработки общей философии моделирования, подходов и параметров, а также обмена информацией.

Одним из инструментов решения этой задачи стал европейский проект STAR (*Strategy for Allied Radioecology*), результатом выполнения которого является документ под названием «Стратегическая программа исследований в радиоэкологии» [SRA, 2012]. Стратегическая программа определяет приоритеты в тематиках исследования в радиоэкологии с целью

повышения эффективности научных работ и ускорения темпов развития науки. Программа строилась как ответ на вопрос: *“Какие тематики необходимо развивать, чтобы достигнуть значительных успехов в радиозэкологии в ближайшие 20 лет?”*

Основные направления исследований в этой области, которые предстоит завершить в ближайшей перспективе, связаны с решением следующих задач:

**Задача 1:** Умение предсказывать уровни облучения человека и дикой природы с достаточной надежностью путем количественной оценки ключевых процессов, оказывающих влияние на перенос радионуклидов и формирование дозовой нагрузки.

**Задача 2:** Уметь оценивать экологические последствия облучения в естественных условиях.

**Задача 3:** Улучшить систему защиты человека и окружающей среды через интегрирование в нее радиозэкологии.

В рамках первой задачи необходимо:

1. Выявить и математически представить основные процессы, которые вносят значительный вклад в миграцию радионуклидов в окружающей среде и формирование дозовых нагрузок на человека и дикую природу.
2. Получить данные, необходимые для параметризации основных процессов, влияющих на перенос радионуклидов.
3. Развивать миграционные и дозиметрические модели, которые должны включать физические, химические и биологические процессы, а также быть способными осуществлять прогнозы во времени и пространстве.
4. Представлять процессы переноса радионуклидов и радиационного воздействия на локальном и глобальном уровнях с оценкой соответствующих неопределенностей.

К этому времени стало уже вполне очевидным, что без привлечения достаточно сложного математического аппарата, включающего в себя и нелинейные уравнения, не обойтись. Конечно, на первых этапах своего нового становления в связи с огромным видовым разнообразием биосферы и практической невозможностью оценить радиационное воздействие на каждый вид биоты методология радиационной безопасности окружающей среды применяется для сравнительно небольшого числа представительных (референтных) видов или групп видов, отличающихся с одной стороны наибольшей радиочувствительностью, а с другой имеющих наиболее важное значение для нормального функционирования местных экосистем [Sazykina et al., 2002; ICRP, 2009; ICRP, 2014a]. Предполагается, что результаты оценок доз для референтных видов могут стать основой для анализа экологических рисков для биоты в целом. Набор референтных биологических видов играет в системе радиационной защиты биоты примерно ту же роль, что и концепция «референтного человека» в системе радиационной защиты населения.

Широкое разнообразие экологических систем в масштабах нашей страны предопределяет необходимость создания базы данных по характерным видам биоты вокруг фактически каждого крупного предприятия атомной отрасли.

Дозовые модели по миграции радионуклидов в различных средах, привязанные к различным ландшафтам, достаточно хорошо были разработаны применительно к облучению человека. Эти модели с разной глубиной проработки стали использовать как основу и для оценок миграционных процессов и для оценки дозовых нагрузок на биоту.

Но, безусловно, привлечение новых методов математического моделирования, закладывает основы для изучения самых разных параметров в различных естественных дисциплинах, и прежде всего в таких, как геология, гидрология, экология.

#### **4.1.1 Модуль оценки дозовых нагрузок на референтные виды биоты и оценки экологического риска**

Неопределённость ответных реакций экосистемы и/или её компонентов в ответ на радиационное воздействие обуславливает необходимость учёта вероятностного аспекта при оценке и прогнозировании последствий данного воздействия. Количественными показателями,

характеризующими вероятности возникновения негативных эффектов, и являются радиационные экологические риски. Но, если применительно к человеку, эти риски представляют из себя непрерывную функцию, изменяющуюся от 0 до 1, то в отношении биоты на настоящее время рассматривают, по сути, только детерминистский метод, когда оцениваются показатели отношения дозовой нагрузки к величине критерия риска, например, отношение дозы к величине экологически безопасного уровня облучения (ЭБУ) [Лунева, 2014]. Особенность этого метода заключается в относительной простоте его реализации и небольшом объёме требуемой входной информации. Среди его недостатков стоит выделить отсутствие учёта неопределённостей и, как следствие, приблизительный характер оценок. Однако в большинстве практических случаев при наличии (или возможности получения) эмпирической информации, характеризующей распределение загрязняющих веществ в компонентах экосистем, такой подход позволяет установить отсутствие угроз (опасности) для состояния экосистемы. Такие расчёты можно рассматривать и как скрининговый подход, позволяющий определить необходимость дальнейших более детализированных исследований.

Подобный подход к решению вопроса оценки радиационного воздействия на окружающую среду с последующей оценкой радиационных рисков, получивший название — «Многоуровневый» метод оценки доз облучения водной и наземной биоты», был разработан Департаментом энергетики США [US DOE, 2002]. Этот метод успешно реализован для проверки и демонстрации того, что деятельность подведомственных Департаменту радиационно опасных предприятий не наносит ущерба природной среде на прилегающих территориях.

Подчеркнём, что цель такого многоступенчатого подхода к оценке радиоэкологических рисков для природной среды минимизировать усилия и затраты. По мере перехода от одного уровня к другому возрастает скрупулезность анализа, требования к входным данным, точность и специфичность результатов, с точки зрения привязки к местности.

Реализация такого подхода в разных странах примерно одинакова. В ИБРАЭ РАН детерминистский метод реализуется в разрабатываемом программном продукте «ЭКОРАД». Консервативная оценка дозовых нагрузок на биоту была реализована в рабочем модуле «Биодоза». Основой модуля «Биодоза» являются базы данных по коэффициентам перехода радионуклидов из различных сред в организм референтных видов за счет различных путей, а также базы расчетных данных по дозовым коэффициентам, приведенные в Приложениях 3-4.

Суммарная мощность дозы облучения  $j$ -го референтного объекта  $\dot{D}_j$  определяется путем суммирования мощностей дозы внешнего и внутреннего облучения этого объекта  $\dot{D}_{i,j}$  от всех рассматриваемых радионуклидов  $i$ :

$$\dot{D}_j = \sum_i \dot{D}_{i,j}^{atm,mp} + \dot{D}_{i,j}^{enu,soil} \quad (4.1)$$

В рабочем модуле «Биодоза» дозовая нагрузка на  $j$ -референтный вид биоты ( $\dot{D}_j$ ), полученная в единицу времени (сутки), измеряется в мГр/сут, и алгоритм её вычисления в самом общем виде следующий:

$$\begin{aligned} \dot{D}_j = & \sum_i (DCF_{ji}^{air} \cdot f_j^{air} \cdot C_i^{air} + DCF_{ji}^{soil} \cdot f_j^{soil} \cdot C_i^{soil} + DCF_{ji}^{water\_fresh} \cdot f_j^{water\_fresh} \cdot C_i^{water\_fresh} + \\ & + DCF_{ji}^{water\_sea} \cdot f_j^{water\_sea} \cdot C_i^{water\_sea} + DCF_{ji}^{soil\_pl} \cdot f_j^{soil\_pl} \cdot \sigma_i) + \\ & + \sum_i (CR_{ji}^{air} \cdot f_j^{air} \cdot C_i^{air} + CR_{ji}^{soil} \cdot f_j^{soil} \cdot C_i^{soil} + CR_{ji}^{water\_fresh} \cdot f_j^{water\_fresh} \cdot C_i^{water\_fresh} + \\ & + CR_{ji}^{water\_sea} \cdot f_j^{water\_sea} \cdot C_i^{water\_sea} + CR_{ji}^{soil} \cdot f_j^{soil\_pl} \cdot C_i^{soil}) \cdot DC_{ji} \end{aligned} \quad (4.2)$$

где 1-ая сумма позволяет оценить дозу внешнего облучения j-го вида биоты, а 2-ая сумма — дозу внутреннего облучения j-го вида биоты.

$f_j^{air}$  — доля времени, проводимая j-м видом биоты в воздухе, отн. единицы;

$f_j^{water\_fresh}$  — доля времени, проводимая j-м видом биоты в пресной воде, отн. единицы;

$f_j^{water\_sea}$  — доля времени, проводимая j-м видом биоты в морской воде, отн. единицы;

$f_j^{soil}$  — доля времени, проводимая j-м видом биоты в почве, отн. единицы;

$f_j^{soil\_pl}$  — доля времени, проводимая j-м видом биоты на поверхности земли, отн. единицы;

$C_i^{air}$  — концентрация i-го радионуклида в воздухе, Бк/м<sup>3</sup>;

$C_i^{soil}$  — концентрация i-го радионуклида в почве, Бк/кг;

$C_i^{water\_fresh}$  — концентрация i-го радионуклида в пресной воде, Бк/кг;

$C_i^{water\_sea}$  — концентрация i-го радионуклида в морской воде, Бк/кг;

$\sigma_i$  — плотность i-го радионуклида на поверхности почвы, Бк/м<sup>2</sup>;

$DCF_{ji}^{air}$  — коэффициент перехода от концентрации в воздухе i-го радионуклида к дозе внешнего облучения j-го вида биоты, (мкГр/сут)·(Бк/м<sup>3</sup>)<sup>-1</sup>;

$DCF_{ji}^{water\_fresh}$  — коэффициент перехода от концентрации в воде i-го радионуклида к дозе внешнего облучения j-го вида биоты, (мкГр/сут)·(Бк/кг)<sup>-1</sup>;

$DCF_{ji}^{water\_sea}$  — коэффициент перехода от концентрации в воде i-го радионуклида к дозе внешнего облучения j-го вида биоты, (мкГр/сут)·(Бк/кг)<sup>-1</sup>;

$DCF_{ji}^{soil}$  — коэффициент перехода от концентрации в почве i-го радионуклида к дозе внешнего облучения j-го вида биоты, (мкГр/сут)·(Бк/кг)<sup>-1</sup>;

$DCF_{ji}^{soil\_pl}$  — коэффициент перехода от плотности i-го радионуклида на поверхности почвы (глубина до 5 см) к дозе внешнего облучения j-го вида биоты, (мкГр/сут)·(Бк/м<sup>2</sup>)<sup>-1</sup>;

$CR_{ji}^{air}$  — коэффициент перехода i-го радионуклида из воздуха в организм j-го вида биоты, (Бк/кг живого веса организма)·(Бк/м<sup>3</sup>)<sup>-1</sup>;

$CR_{ji}^{water\_fresh}$  — коэффициент перехода i-го радионуклида из пресной воды в организм j-го вида биоты, (Бк/кг живого веса организма)·(Бк/кг)<sup>-1</sup>;

$CR_{ji}^{water\_sea}$  — коэффициент перехода i-го радионуклида из морской воды в организм j-го вида биоты, (Бк/кг живого веса организма)·(Бк/кг)<sup>-1</sup>;

$CR_{ji}^{soil}$  — коэффициент перехода i-го радионуклида из почвы в организм j-го вида биоты, (Бк/кг живого веса организма)·(Бк/кг сух. веса почвы)<sup>-1</sup>;

$DC_{ji}$  — дозовый коэффициент перехода от активности в теле j-го организма к дозе внутреннего облучения от i-го радионуклида, (мкГр/сут)·(Бк/кг живого веса организма)<sup>-1</sup>.

В экспресс-методе (1 этап моделирования дозовых нагрузок) значения всех коэффициентов в соотношении (4.2) можно взять из базы данных (Приложение 4). Здесь входными параметрами будут только сами виды биоты, время пребывания в той или иной среде и уровни равновесной концентрации радионуклидов в различных средах, которые берутся либо из базы данных по мониторингу (по предприятиям отрасли такие базы подготовлены в виде программного продукта), либо задаются пользователем.

Если вычисленные дозы для всех референтных видов заметно ниже принятых национальных или международных критериев, то полученный результат свидетельствует об отсутствии угроз (опасности) для состояния экосистемы и необходимость дальнейших расчетов отпадает.

При приближении оценок к установленным критериям или превышении их, необходимо использовать более реалистичную модель. Особенности следующей степени приближения в оценках дозовых нагрузок заключены в учете непостоянства концентраций радионуклидов в средах (почвы, воды, воздух), в миграции и поведении видов, а также в изменчивости их рационов питания.

Для получения значений более реалистичных дозовых коэффициентов полезно использовать реальные физические размеры выбранного референтного вида. При выполнении экспресс оценок (первая стадия анализа радиационного воздействия) форма тела большинства видов описывалась с помощью эллипсоида. Такая аппроксимация вполне удовлетворительна как для учета самопоглощения излучения в теле организма, так и для учета проскока  $\gamma$ -квантов через него. Характерные размеры референтных водных и наземных организмов приведены в Приложении 3.

В ряде более точных расчетов возникает необходимость учета распределения радионуклидов по органам референтного вида. При оценке поступления радионуклидов в организм отдельных видов биоты с воздухом и пищей на этом этапе также широко применяются методы аллометрии.

Данные мониторинга вокруг рассматриваемого ЯРОО, их вариабельность в течение жизненного цикла предприятия используются наряду с расчетными значениями этих параметров, взаимно дополняя их и снижая неопределенность оценок. Программные комплексы такого уровня в настоящее время разрабатываются в США, Европейском Союзе и России.

#### **4.1.2 Развитие методов оценки гидрогеологического моделирования**

Проблема захоронения РАО в подземные горизонты вызвала необходимость развития кодов для гидрогеологического моделирования, которые были бы способны рассчитывать потоки грунтовых вод и миграцию примесей в них для последующих долговременных оценок радиационного воздействия на биоту. Современные возможности вычислительной техники позволяют проводить моделирование полноценно в трехмерном пространстве. Наиболее широко распространенными на сегодняшний день примерами таких кодов являются программы MODFLOW и MT3DMS [1], FEFLOW [2], TOUGH2 [3]. Среди отечественных разработок следует отметить расчетный код GeRa [4], разработка которого была начата в 2012 году. К настоящему моменту по функционалу он близок к лидирующим зарубежным кодам, в ряде аспектов даже опережая их (использование неструктурированных сеток, параллельность) (рисунок 4.1).

При решении прогнозных задач по геомиграции радионуклидов работа подразделяется на следующие этапы:

1. Гидрогеологическая схематизация и создание геологической модели объекта. На этом этапе строится структурная модель (определяется расположение геологических слоев в пространстве), определяются фильтрационные и миграционные параметры геологических пород, задаются поверхностная гидросеть и техногенные объекты (скважины, дренажи и т.д.), определяются начальные и граничные условия.
2. Геофильтрационное моделирование, заключающееся в расчете напоров (либо уровней) и потоков грунтовых вод.
3. Геомиграционное моделирование – непосредственно прогноз переноса загрязнения грунтовыми водами от его источника.



4. Оценка достоверности результатов на базе анализа неопределенностей, неизбежно присутствующих в определении параметров модели. Данный пункт особенно важен, учитывая большие временные масштабы решаемых задач и традиционно высокую неопределенность в геологических исходных данных, для которых ошибка в 30% считается допустимой величиной.

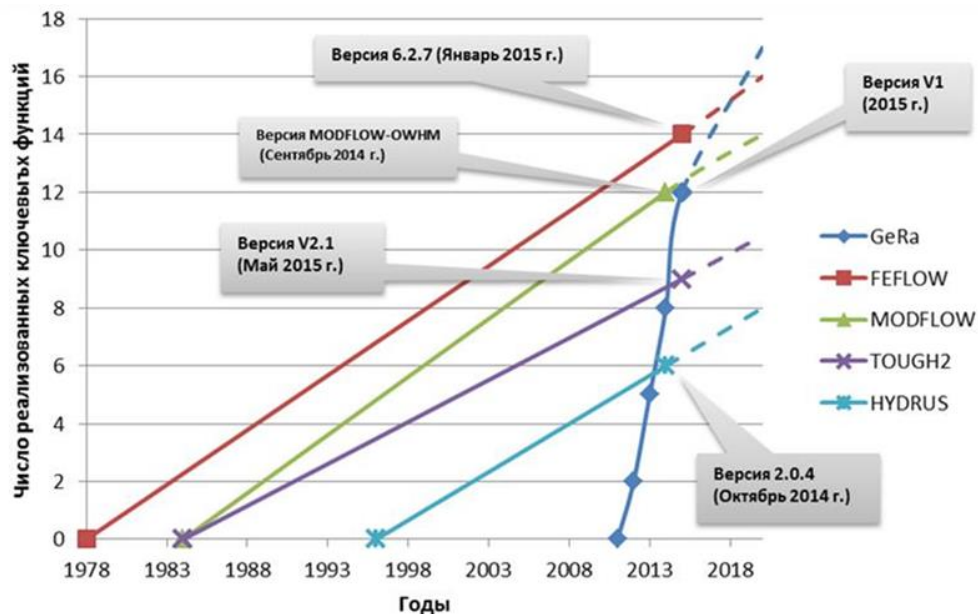


Рисунок 4.1 - Интенсивность разработки кода GeRa в сравнении с зарубежными аналогами (экспертная оценка)

В ряде случаев геофильтрационное и геомиграционное моделирование неотделимы друг от друга, в частности, при моделировании плотностной конвекции. Уровень детализации расчетных моделей определяется различными факторами: периодом потенциальной опасности объекта, гидрогеологическими условиями, доступностью исходных данных, перечнем значимых процессов, явлений и событий. Наиболее часто при моделировании фильтрации используются безнапорная и напорная постановки задачи, предполагающие, что течение жидкости происходит только в насыщенной области. Эти модели требуют минимального набора параметров. Однако при моделировании геомиграционных процессов в необводненной зоне, например в районе приповерхностного объекта, такие модели не способны обоснованно описывать фильтрацию и перенос, и следует использовать модели ненасыщенной фильтрации, либо двухфазной фильтрации вода-газ. Первую отличает от второй предположение о равенстве давления в газовой фазе атмосферному, она требует меньшего числа параметров, которые, вообще говоря, на практике непросто измерить даже для этой модели. Среди вышеперечисленных кодов возможностями моделирования ненасыщенной фильтрации обладают FEFLOW, GeRa и TOUGH2, и только в последнем есть возможности моделирования двухфазной фильтрации.

При моделировании переноса радионуклидов учитываются, в первую очередь, процессы адвекции (переноса примеси с потоком жидкости), гидродинамической дисперсии и молекулярной диффузии, сорбции на породах и радиоактивного распада. При этом ключевым вопросом является выбор модели сорбции, для остальных четырех процессов модели уже являются устоявшимися (по крайней мере, для однородных поровых сред) [Шестаков, 2009; Румынин, 2011]. Наиболее простой и часто используемой является модель равновесной обратимой сорбции по линейной изотерме Генри. Ее основным недостатком является не учёт ограниченной и переменной сорбционной емкости породы. Реже используются более сложные модели сорбции по изотермам

Ленгмюра и Фрейндлиха, призванные устранить вышеуказанные недостатки линейной модели. Во всех этих моделях сорбции никак не учитывается реальный химический состав раствора и породы, взаимовлияние различных компонент, порой на порядки меняющие коэффициенты распределения ( $K_d$ ) радионуклидов [Болдарев и др., 2015]. Наиболее обоснованные результаты расчета химических взаимодействий возможно получить при прямом расчете химических взаимодействий в системе вода-порода. Большинство расчетных кодов дают такую возможность, используя для геохимических расчетов программу PHREEQC [Charlton and Parkhurst, 2011].

#### 4.1.3 Развитие методов оценки экологического моделирования

Принципиальное различие систем радиационной защиты человека и природы состоит в том, что первая направлена на защиту каждого индивидуума, в то время как целью второй является сохранение биоразнообразия, структуры и функций экосистем. Индуцируемые стрессорами изменения в экосистемах не могут быть в полной мере объяснены воздействием на отдельные организмы. Эффекты на организменном уровне являются триггером, инициирующим сложные, как правило, нелинейные изменения в экосистемах, которые могут проявляться в отдаленный период после инициировавшего их воздействия [Bradshaw et al., 2014]. Это является следствием экологических процессов, которые, как правило, характеризуются медленной кинетикой и нелинейной динамикой ответных реакций. В контексте оценки экологического риска важными являются следующие свойства экосистем [Muller et al., 2000]:

- сложная структура, которая может проявлять как детерминистские, так и стохастические свойства;
- действующий фактор и ответная реакция не всегда линейно связаны между собой;
- составные части экосистемы связаны между собой и могут взаимодействовать синергически или антагонистически;
- под действием внешних факторов экосистемы могут переходить в состояние, из которого невозможно вернуться к прежнему;
- экосистемы относятся к типу неравновесных динамических систем.

Большинство перестроек экосистем ведут к их менее благоприятному, с точки зрения человека, состоянию [Brechignac et al., 2012]. Поэтому природоохранная деятельность должна быть направлена на поддержание устойчивости экосистем и предотвращение их глобальных перестроек. В экосистемном подходе предлагается оценивать расширенный набор показателей, гораздо более тесно связанных с целями радиационной защиты (рисунок 4.2) [Bradshaw et al., 2014].

В целом, работа по созданию системы оценки состояния окружающей среды при действии факторов радиационной и нерадиационной природы на основе экологических критериев на сегодняшний день далека от завершения. Признавая очевидный сдвиг в эгоцентрическом направлении в области радиационной защиты, необходимо отметить, что переход к экологическим принципам охраны окружающей среды от радиационного воздействия должен производиться крайне взвешенно и осторожно. Изменение парадигмы радиационной защиты природы потребует решения чрезвычайно сложных научных проблем [Алексахин и Фесенко, 2004; Казаков и Линге, 2004]: уточнения величин ОБЭ для представителей флоры и фауны; введения дозиметрических единиц эквивалентных и эффективных поглощенных доз для растений и животных; обоснование эталонного набора референтных представителей флоры и фауны; определение конечных эффектов действия ИИ на растения и животных, которые можно использовать в качестве интегральных критериев радиационной защиты природы; установление зависимостей "доза-эффект" для референтных представителей флоры и фауны; определение роли уровня радиационных эффектов при охране биоты (индивидуальный, популяционный, экосистемно-биогеоценотический); обоснование дозовых пределов облучения биоты. Предложенный МКРЗ подход «референтной флоры и фауны» далеко не совершенен, однако содержит конструктивный способ обеспечения концептуальной целостности общей системы радиационной защиты человека и биоты.

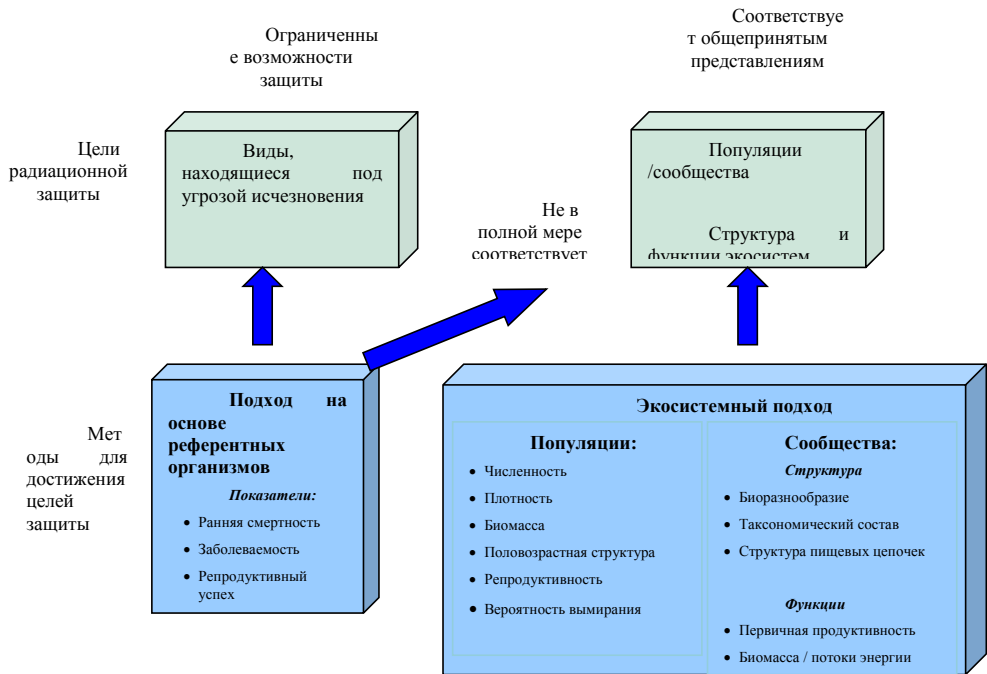


Рисунок 4.2 - Различия организменного и экосистемного подходов к оценке качества окружающей среды [Bradshaw et al., 2014]

В настоящее время только начата работа по разработке методологии и концепции радиационной защиты природной биоты, параллельно начата работа по созданию кодов, в основе которых лежат экосистемные подходы.

## 4.2 Оценка риска — современный инструмент оценки воздействия

Оценка риска от воздействия радиоактивных и химических веществ, несмотря на относительную молодость направления, в настоящее время является быстро развивающимся, междисциплинарным научным направлением, современным инструментом управления качеством среды и здоровьем человека. Данное научное направление поддерживается и используется в практической деятельности многих международных организаций: Научный комитет по действию атомной радиации ООН, Программа ООН по окружающей среде (UNEP), Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций (ФАО/ВОЗ), Международная организация труда (ILO, МОТ), Организация по сотрудничеству и развитию (OECD), Международная программа химической безопасности (IPCS), Всемирная организация здравоохранения (WHO, ВОЗ) и ее подразделения — Международное агентство по изучению рака (IARC, МАИР), Объединенный экспертный комитет ФАО/ВОЗ по пищевым добавкам (JECFA), Совместное Сопровождение ФАО/ВОЗ по остаточным количествам пестицидов (JMPR), а также Межорганизационная Программа по рациональному обращению с химическими веществами (Inter-Organization Programme for the Sound Management of Chemicals, ИОМС), Международная Комиссия по радиологической защите (МКРЗ), МАГАТЭ. В формировании требований к изучению микробиологического риска принимает участие Всемирная торговая организация (ВТО).

Сегодня трудно найти развитую страну, где в управлении качеством среды и здоровьем человека не применялась бы методология оценки риска. Активное участие в разработке методических основ оценки риска принимают государственные учреждения Канады (Health Canada и Environment Canada, региональные агентства), Нидерландов (RIVM) и др. Руководства по оценке химического риска здоровью человека и экологического риска разработаны в США, они также используются в Австралии и Новой Зеландии, Южно-африканской республике и многих других странах.

Разработка методологических подходов к оценке и управлению радиационными рисками самым непосредственным образом связана с созданием и развитием системы радиационной защиты, основные положения которой содержатся в Рекомендациях Международной Комиссии по радиологической защите (МКРЗ).

Основы современной системы радиационной защиты были заложены в 1977 г., когда МКРЗ в Публикации 26 [ICRP, 1977] сформулировала концепцию «эффективной эквивалентной дозы». До этого времени система обеспечения радиационной безопасности базировалась на концепции "критического органа" и порогового действия радиации, т.е. традиционный санитарно-гигиенический подход. Однако к середине 70-х годов были получены новые данные о радиогенных раках среди японского населения, и было показано, что ионизирующая радиация при воздействии на организм человека может вызывать два вида эффектов повреждения здоровья: детерминированные пороговые эффекты (вредные тканевые реакции) и стохастические (вероятностные) беспороговые эффекты (онкологические и наследственные эффекты). Что послужило поводом к ревизии концепции "критических органов". Целью предложенной в Публикации 26 концепции "эффективного дозового эквивалента" было ограничение вероятности возникновения стохастических эффектов при облучении человека.

Была принята концепция линейной беспороговой (ЛБП) дозовой зависимости вероятности стохастических эффектов, которую до настоящего времени разделяют далеко не все исследователи.

Принятие ЛБП концепции привело к необходимости установления уровня приемлемого риска. Приемлемость риска может оцениваться путем экспертных оценок — выбора из уже существующих привычных реальных рисков в других областях человеческой деятельности, считающимися благополучными (как это и было сделано в Публикации 26). Уровень приемлемого риска должен быть величиной социально и экономически обусловленной, т.е. определяться равновесием между пользой для общества и риском возможных неблагоприятных последствий от конкретного вида деятельности.

В Публикации 60 [ICRP, 1991] идея радиационной защиты, основанной на методологии анализа риска, получила дальнейшее развитие. Была приведена количественная характеристика риска возникновения стохастических эффектов от хронического облучения населения эффективной дозой 1 мЗв в год и значения совокупного ущерба для здоровья, определены количественные критерии приемлемого риска развития стохастических эффектов и соответствующие им дозовые пределы. Здесь важно обратить внимание в первую очередь российского читателя на одно обстоятельство, которое часто упускается из вида при различного рода оценках. Предложенная концепция оценок риска в диапазоне малых воздействий применима исключительно в целях относительного сравнения различных технологий, либо сравнения гипотетической пользы и гипотетического ущерба. Во многих публикациях об этом как-то забывают и легко превращают коллективные дозы радиации или химических реагентов в количество реальных потерь жизни у населения.

На опасность такой трактовки неоднократно указывали видные отечественные радиологи, но ситуация не изменилась коренным образом.

#### **4.2.1 Риски для здоровья человека**

В России научные работы в области оценки риска, в том числе и химического, появились в конце 80-х - начале 90-х годов прошлого века. Применительно к проблемам радиационной

безопасности вопросы, связанные с подходами и оценками риска, были изложены в книге Филюшкина и Петояна «Теория канцерогенного риска воздействия ионизирующего излучения» [Филюшкин и Петоян, 1988]. Однако в связи с фактическим запретом термина "риск" применительно к проблемам химической безопасности и любым гигиеническим задачам в профилактической токсикологии "риск" заменялся термином "потенциальной опасности" (в отличие от "фактической опасности", оцениваемой по параметрам токсикометрии: среднесмертельной дозе/концентрации, порогам вредного действия и т.д.).

Исследования по оценке риска для здоровья в нашей стране получили развитие после выхода совместного Постановления Главного государственного санитарного врача Российской Федерации и главного государственного инспектора Российской Федерации по охране природы от 10 ноября 1997 г. "Об использовании методологии оценки риска для управления качеством окружающей среды и здоровья населения в Российской Федерации". В приложении к книге Новикова С.М., Шашиной Т.А. и соавт. [Методические, 2003] приведены основные этапы внедрения методологии оценки риска в России за период с 1995 по 2003 гг., подготовленные Авалиани С.Л. Важным этапом этого процесса явился выход первой в России книги "Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду" [Онищенко и др., 2002] и последовавшее за этим издание Руководства Р 2.1.10.1920-04 [Руководство, 2004]. Во многом методология, изложенная в монографии, опирается на методы оценки риска в рамках работ, проводимых под эгидой американского агентства по защите окружающей среды — US Environmental Protection Agency или US EPA.

Базовая схема оценки риска предполагает, что перед проведением исследований по полной схеме должны быть чётко определены цели и задачи исследований, сформирована группа исследователей, в которую целесообразно включать как специалистов по оценке риска, так и токсикологов, химиков, радиологов, технологов, лиц, которые в последующем будут разрабатывать варианты управленческих решений и принимать решения по их реализации.

После определения заинтересованными лицами цели, полноты финансирования и формы получения итоговых оценок на предварительном этапе целесообразно разработать концептуальную модель территории, представляющую собой графическое или описательное представление возможных взаимосвязей между источниками загрязнения окружающей среды, маршрутами воздействия (первично загрязняемыми средами, транспортирующими, накапливающими или трансформирующими вредные вещества средами, воздействующими на человека средами, путями возможного поступления этих веществ из воздействующих сред) и экспонируемыми группами населения.

Важным элементом концептуальной модели является маршрут воздействия – то есть тот путь, который должно пройти вещество от источника, первично загрязнённой среды, вторичных сред до агента или исследуемого экологического объекта.

Концептуальная модель территории является основой для формирования предварительных сценариев воздействия, характеризующих временные и пространственные параметры воздействия потенциально опасных веществ. Данные сценарии используются для формулировки конкретных задач исследования и подлежат корректировке с учётом данных, полученных в процессе проведения оценки риска. При формировании сценариев воздействия учитываются поставленные цели исследований, в частности, такие варианты, как оценка рисков, существующих на данной территории, или рисков, связанных с определённым источником загрязнения окружающей среды, например, обусловленных конкретным предприятием или группой предприятий.

Концептуальная модель определяется экспертами на основе задания, поставленного заказчиком работы, с учётом мнений других лиц, участвующих в оценке риска. Модель необходима для разграничения того, что уже известно или предсказано, и того, что принимается по умолчанию или основано на некоем стандарте. Данная модель важна для обсуждения возможных неопределённостей в планировании исследований. В разработке концептуальной модели должны принимать участие лица, которые в дальнейшем будут разрабатывать возможные

варианты решений по управлению рисками, в частности, экономисты. При оценке риска по базовой схеме используются результаты мониторинга концентраций химических веществ в анализируемых объектах окружающей среды, различные параметры радиационной обстановки и/или данные, полученные на основе моделирования рассеивания поллютантов за период не менее 3-5 лет (если, это касается химических токсикантов) или года для радиоактивных веществ.

Как правило, при базовой оценке риска оценки относятся к так называемому обоснованно максимально экспонируемому индивиду (RMEI или RMI, а в области радиационной защиты — к критической группе). Величина экспозиции у RMEI не превышает максимальную реальную экспозицию (дозу) в исследуемой популяции. Обоснованной аппроксимацией экспозиции у RMEI являются дозы для верхней границы распределения экспозиций в популяции, лежащей в районе 90-98 % от максимально возможной.

Важно отметить, что оценка риска не является жёстко заданной последовательностью вышеперечисленных четырёх этапов. Это процесс, при котором результаты определённого этапа могут оказывать влияние на ранее полученные оценки и заставлять исследователя вновь возвращаться к уже проведённым этапам с целью их корректировки. Хотя для радиационного фактора воздействия в современных оценках риска априори консервативно признается только вредное воздействие облучения и предполагаемые (в области малых воздействий) количественные связи между дозой и биологическим эффектом. Во многом, это связано с огромной трудностью получения достоверных доказательств получения и причинной идентификации биологического отклика в диапазоне от нуля до максимальной реальной экспозиции.

Кроме того, в зависимости от целей и конкретных задач, поставленных в проекте по оценке риска, содержание и объем основных этапов исследования могут существенно варьировать. В частности, это отражается на выборе сценариев и маршрутов воздействия потенциально вредных факторов, входящих в концептуальную модель исследуемой территории.

Для оценки риска от химических поллютантов важным является первый этап идентификации опасности. Этот начальный этап представляет собой скрининговое изучение всех возможных источников воздействия, загрязняющих веществ, путей их воздействия и предусматривает также идентификацию ведущих (целевых) поллютантов, наиболее вероятных путей воздействия и вредных эффектов, связанных с этими веществами и путями их воздействия.

Идентификация вредного фактора (или факторов) — это качественная оценка неблагоприятных для здоровья эффектов какого-либо вещества (или веществ) у людей или животных. Идентификация опасности опирается на имеющиеся экспериментальные токсикологические данные, результаты клинических и эпидемиологических исследований. Если необходимая информация отсутствует, то идентификация опасности требует проведения специальных токсикологических исследований и/или использования зависимостей “химическая структура — биологическая активность”.

Следует особо подчеркнуть, что оценка опасности не является оценкой риска. На первом этапе определяется только научная корректность заключения о том, что токсические эффекты, наблюдавшиеся в одном исследовании, могут быть выявлены и в других исследованиях (например, возможно ли то, что химические соединения, обладавшие канцерогенным или тератогенным действием в эксперименте на животных, вызовут аналогичные эффекты у человека). Опасность — общее понятие и не зависит от специфики местных условий. Оценка экспозиции и оценка риска, напротив, зависят от характеристик местных условий. Опасность существует независимо от того, имело или нет воздействие вещества (энергии) на какой-либо живой организм, потенциально чувствительный к такому воздействию. Опасность обусловлена механизмом взаимодействия реагента и живого организма. Напротив, риск является результатом фактического или потенциального воздействия химического соединения. Без экспозиции не будет риска, независимо от степени опасности рассматриваемого вещества. Таким образом, если опасность — общий признак взаимодействия реагента с биологической системой, то риск — специфический признак частной ситуации.

Под опасностью иногда понимают правдоподобность того, что вещество может вызвать неблагоприятный эффект в условиях его производства, использования или распространения.

На этапе идентификации опасности должны быть окончательно определены конечные задачи исследовательского проекта, выявлены и ранжированы все проблемные области, а также сформирована группа исследователей, участвующих в оценке риска. Данная группа, как правило, должна состоять из менеджера проекта, специалистов в области радиоэкологии, токсикологии, эпидемиологии, санитарной химии. Крайне желательно включать в эту группу представителей местных администраций, служб государственного санитарно-эпидемиологического надзора и охраны природы. Исследовательская группа должна работать в тесном контакте с широкими кругами общественности, общественными организациями, предприятиями и другими органами и лицами, заинтересованными в конечных результатах исследований. В ряде случаев, например, при реализации достаточно крупных, региональных проектов оценки риска целесообразно формировать общественный наблюдательный совет, состоящий из вышеуказанных лиц.

В многочисленных зарубежных Руководствах при описании Идентификации опасности (вредности) химического вещества основное внимание уделяется анализу имеющихся данных об их вредных эффектах, описанию всех мировых источников этих данных, оценке приоритетности соединений для проведения последующих этапов оценки риска и/или проведения мер по менеджменту риска. В нашей стране на этом этапе ведущая роль придаётся источникам данных о концентрациях, что обусловлено разрозненностью величин, полученных разными методами, отсталостью химико-аналитической базы и её современной методической поддержки [Руководство, 2004].

Для расчёта величины суточного поступления (суточной дозы облучения) на этапе идентификации приоритетных вредных веществ рекомендуется применять стандартный, наиболее консервативный сценарий воздействия. В качестве экспресс-метода может использоваться расчёт уровней риска для максимальной из наблюдавшихся концентраций химического вещества (максимальной оценки дозовой нагрузки) – если полученная величина риска не превышает референтной величины (индекс опасности менее 1,0, канцерогенный риск менее  $10^{-6}$ ), то такое вещество может быть исключено из перечня приоритетных. Введение такого же практического порога для радиационного фактора не только стало бы шагом к гармонизации нормативных требований в стране, но и освободило бы специалистов от нелепых расчётов бесконечно малых величин только на основании того, что бюрократия считает страх перед радиацией непреодолимым качеством населения страны.

Чаще всего на этапе идентификации опасности доступна качественная характеристика приоритетности, например на основе зарубежных перечней опасных загрязняющих веществ или имеющегося опыта при реализации других проектов [Онищенко и др., 2002].

**Этап оценки зависимости доза-ответ.** Зависимости доза-ответ — зависимость между дозой, основанной чаще на введенной дозе (например, экспозиция для химических веществ), а не на абсорбированной дозе, и выраженностью токсического повреждения, вызванного химическим веществом. Ответ может быть выражен либо как тяжесть повреждения, либо как поражённая пропорция экспонированных лиц. Оценка зависимости доза-ответ является вторым этапом оценки риска.

Оценка зависимости доза-ответ — это процесс количественной характеристики токсикологической информации и установления связи между воздействующей дозой (концентрацией) загрязняющего вещества и случаями вредных эффектов в экспонируемой популяции. В практических исследованиях обычно не ставится задача углублённого изучения зависимости «доза-ответ». Целью данного этапа в подобных работах является обобщение и анализ всех имеющихся данных о стандартах, критериях, нормативах, руководящих (рекомендуемых) уровнях, используемых для оценки таких уровней экспозиции, при которых может или не может возникать вредный эффект.

Параметры для оценки неканцерогенного риска. При оценке риска развития неканцерогенных эффектов, как правило, исходят из предположения о наличии порога вредного действия, ниже которого вредные эффекты не обнаруживаются современными методами при заданном времени исследования.

Спектр неблагоприятных эффектов, вызываемых как химическими, так и радиоактивными веществами, чрезвычайно широк.

Типичная зависимость «доза-ответ» для неканцерогенных веществ имеет вид S-образной (сигмоидальной кривой), левая ветвь которой совмещается с абсциссой в точке, соответствующей нулевому эффекту, так как неканцерогенные вещества могут представлять риск только при превышении порогов или безопасных уровней воздействия (рисунок 4.3).

Для характеристики риска развития **неканцерогенных** эффектов наиболее часто используются такие показатели зависимостей "доза-ответ", как максимальная недействующая доза и минимальная доза, вызывающая пороговый эффект (для неканцерогенов и канцерогенов, обладающих негенотоксическим механизмом действия). Эти показатели являются основой для установления уровней минимального риска — референтных доз — *RfD* и соответствующих референтных концентраций — *RfC* химических веществ. Их применение характеризует правдоподобие отсутствия вредных реакций.



Рисунок 4.3 – Зависимость «доза-эффект» для неканцерогенных веществ

Референтная доза/концентрация — суточное воздействие химического вещества в течение всей жизни, которое устанавливается с учётом всех имеющихся современных научных данных и, вероятно, не приводит к возникновению неприемлемого риска для здоровья чувствительных групп населения. Превышение референтной (безопасной) дозы не обязательно связано с развитием вредного эффекта: чем выше воздействующая доза, и чем больше она превосходит референтную, тем выше вероятность появления негативных изменений состояния здоровья. Однако оценить эту вероятность при данном методическом подходе невозможно. В связи с этим итоговые характеристики оценки экспозиции на основе референтных доз и концентраций получили название коэффициентов и индексов опасности. Термин "**опасность**" в названиях этих характеристик подчёркивает их отличие от традиционного понятия о риске, как количественной меры вероятности развития вредного эффекта.



В настоящее время в зарубежных странах (США, Канада) и международных организациях (ВОЗ, ФАО/ВОЗ, Комиссия европейского сообщества, Организация по экономическому сотрудничеству и развитию и др.) разработаны референтные уровни воздействия более чем для 1000 химических соединений. Причём, около 20% референтных концентраций обоснованы с использованием клинических и эпидемиологических данных [Методические, 2003].

При отсутствии референтной концентрации в качестве её эквивалента возможно применение предельно допустимых концентраций (ПДК) или максимальных недействующих доз (МНД) и концентраций (МНК), установленных по прямым эффектам на здоровье: в воде водоёмов — по санитарно-токсикологическому признаку вредности, в атмосферном воздухе населённых мест — по резорбтивным и рефлекторно-резорбтивным эффектам. Для радиационного фактора в качестве базовой величины для неканцерогенных эффектов могла бы стать доза облучения (NOEL) в 500 мЗв<sup>9</sup> [МКРЗ, 2012], а в качестве *RfD* — 50 мЗв или даже 20 мЗв.

В процессе установления величины референтной дозы или концентрации нередко прибегают к экстраполяции имеющихся данных на область, расположенную вне исследованного диапазона доз или имеющую другие качественные и количественные характеристики. Используют пять видов экстраполяций:

- с высокой дозы на более низкую дозу;
- с данных, полученных на экспериментальных животных, на условия воздействия на человека (межвидовая экстраполяция);
- с одного пути поступления вещества на другой путь поступления;
- с условий относительно непродолжительного воздействия на более длительные экспозиции;
- с данных, полученных при обследовании одной популяции, на другую группу лиц, отличающуюся по своей чувствительности к действию анализируемого химического вещества (внутривидовая экстраполяция).

Основным параметром для оценки риска является производный (от NOEL) неэффективный уровень (Derived No-Effect Level — DNEL), устанавливаемый для разных сред, разных путей поступления в организм человека и разной продолжительности экспозиции. Для оценки экологического риска в Европе разрабатываются NOEC, NEC (неэффективные уровни), PNE, PEC (Predicted Environmental Concentrations). Значения этих величин приводятся в многочисленных источниках информации, например, в общеевропейской компьютерной системе USES 2.1 (European Union System for the Evaluation of Substances) или компьютерной базе данных IUCLID (The International Uniform Chemical Information Database, OECD).

Для получения количественной оценки риска (ущерба) принимается, что в области значений фактора воздействия ниже *RfD* и *RfC* риск неканцерогенных эффектов равен нулю (0). В областях между этими значениями и NOEL, между NOEL и ED<sub>10</sub>, между ED<sub>10</sub> и ED<sub>50</sub>, между ED<sub>50</sub> и ED<sub>100</sub> можно провести линейную экстраполяцию, однако в нормативных документах это требование не закреплено.

Характеристика риска развития неканцерогенных эффектов для отдельных химических веществ проводится на основе расчета коэффициента опасности.

**Коэффициент опасности (HQ)** — отношение воздействующей дозы (или концентрации) химического вещества к его безопасному (референтному) уровню воздействия.

При пероральном поступлении химических веществ коэффициент опасности определяют путем сопоставления величин потенциальной суточной дозы вещества, поступающего

---

<sup>9</sup> На практике эти эффекты, как правило, не рассматривают, поскольку стохастические эффекты имеют для радиации в настоящее время более значимый вес. Однако, если со временем, в практике радиационной защиты вернуться к научно-обоснованным критериям, то не исключено, что будут рассматривать обе составляющие риска.

определенным путем, и уровня безопасного воздействия при этом же пути поступления по формуле:

$$HQ_i = \frac{D_i}{RfD}, \text{ где} \quad (4.1)$$

- $HQ_i$  – коэффициент опасности воздействия вещества  $i$ ;  
 $D_i$  – средняя доза поступления вещества  $i$ , мг/(кг·день);  
 $RfD$  – референтная (безопасная) доза, мг/(кг·день).

При ингаляционном поступлении, если только это не диктуется специальными задачами исследования, нет необходимости рассчитывать дозу воздействия, и расчет коэффициента опасности может осуществляться по соотношению:

$$HQ_i = \frac{C_i}{RfC}, \text{ где} \quad (4.2)$$

- $HQ_i$  – коэффициент опасности воздействия вещества  $i$ ;  
 $C_i$  – концентрация вещества  $i$ , мг/м<sup>3</sup>;  
 $RfC$  – референтная (безопасная) концентрация, мг/м<sup>3</sup>.

Если рассчитанный коэффициент опасности ( $HQ$ ) вещества не превышает единицу (1,0), то вероятность развития у человека вредных эффектов при ежедневном поступлении вещества в течение жизни незначительна, и такое воздействие характеризуется как допустимое. Если коэффициент опасности превышает единицу ( $HQ > 1,0$ ), то вероятность возникновения вредных эффектов у человека возрастает пропорционально увеличению  $HQ$ , однако процедура количественного определения нормативно не закреплена. В этом случае отбирают все вещества, для которых  $HQ > 1,0$ , ранжируют их по величине коэффициента опасности для определения наиболее приоритетных загрязнителей.

Коэффициент опасности рассчитывается отдельно для условий кратковременных (острых), подострых и длительных воздействий химических веществ. При этом период усреднения экспозиций и соответствующих безопасных уровней воздействия должен быть аналогичным.

Характеристика риска развития неканцерогенных эффектов при комбинированном и комплексном воздействии химических соединений проводится на основе расчета индекса опасности ( $HI$ ). **Индекс опасности ( $HI$ )** – сумма коэффициентов опасности для веществ с однонаправленным механизмом действия или сумма коэффициентов опасности для разных путей поступления химического вещества. Индекс опасности для условий одновременного поступления нескольких веществ одним и тем же путем и действующих на одинаковые критические органы и системы (например, ингаляционным или пероральным) рассчитывается по соотношению:

$$HI = \sum HQ_i, \text{ где} \quad (4.3)$$

$HQ_i$  – коэффициенты опасности для отдельных компонентов смеси воздействующих веществ, оказывающих действие на одинаковые критические органы и системы.

Расчет индексов опасности целесообразно проводить с учетом критических органов/систем, поражаемых исследуемыми веществами, т.к. при воздействии компонентов смеси на одни и те же органы или системы организма наиболее вероятным типом их комбинированного действия является суммация (аддитивность). Подобный подход, принятый в оценке риска для неканцерогенных эффектов, хотя и достаточно консервативен, т.к. может преувеличивать опасность для здоровья, однако является более предпочтительным по сравнению с отдельной, независимой оценкой каждого из компонентов, или признанием всех компонентов аддитивно действующими.

При комплексном поступлении химического вещества в организм человека из окружающей среды одновременно несколькими путями, а также при многосредовом и многомаршрутном воздействии критерием риска является суммарный индекс опасности (*ТНІ*), который рассчитывается по формуле:

$$ТНІ = \sum HI_j, \text{ где} \quad (4.4)$$

*HI<sub>j</sub>* – индексы опасности для отдельных путей поступления или отдельных маршрутов воздействия.

Все выше сказанное относится к оценке возможного вреда здоровью человека. Однако такая же методология применима и для оценки вреда для отдельных видов биоты. Более того, в данном случае количественные оценки вреда могут быть трансформированы в количество погибших особей, тем более тут не возникает действительно сложной проблемы переноса результатов экспериментальных исследований «доза – эффект» с одного вида на другой.

В настоящее время для экспрессных оценок по экологическому ущербу для некоторой загрязненной территории нередко используют и более консервативный подход, заключающийся в том, что при превышении дозовых нагрузок выше *NOEL* для вида предполагают, что вся популяция этого вида биоты, обитающая на рассматриваемой территории, погибла [Абалкина и др., 2014].

Поскольку в области радиационной защиты для человека превышение подобных уровней, как *NOEL*, недопустимо в принципе (за исключением случаев по спасению людей), а превышение уровней *RfD* трактуется как аварийная ситуация, то оценка рисков производится, главным образом, для канцерогенных эффектов.

Для некоторых факторов воздействия (химических или радиационных) наряду с неканцерогенными эффектами установлено наличие биологических эффектов иного рода, которые относят к стохастическим. Среди таковых в основном рассматриваются канцерогенные и наследственные эффекты. Основное их отличие, что для них не определены теоретические пороги воздействия.

Оценка зависимости «доза-ответ» для **канцерогенов** с беспороговым механизмом действия осуществляется путем линейной экстраполяции реально наблюдаемых в эксперименте или в эпидемиологических исследованиях зависимостей в области малых доз и нулевого канцерогенного риска. Типичный пример зависимости «доза-ответ» для канцерогена с беспороговым механизмом действия приведен на рисунке 4.4.

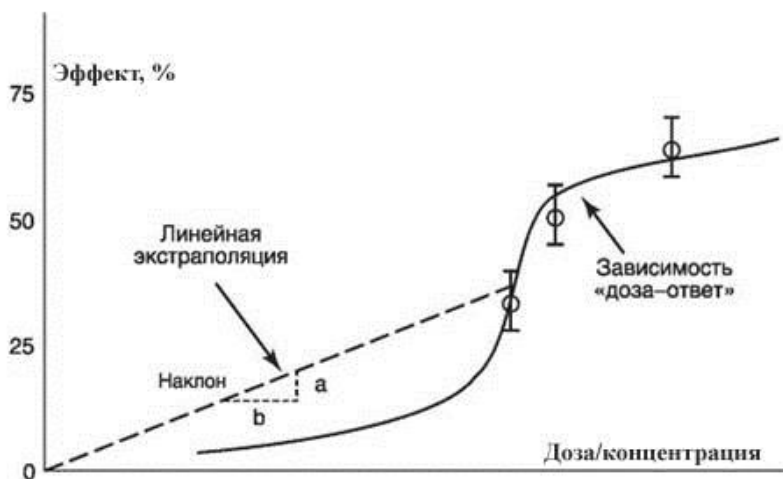


Рисунок 4.4 - Зависимость «доза-ответ» для химического канцерогена [Онищенко и др., 2002]

Основным параметром для практической оценки канцерогенного риска воздействия канцерогенного агента с беспороговым механизмом действия является фактор канцерогенного потенциала, **фактор наклона, SF** (в радиологии — **линейный коэффициент радиационного риска**), характеризующий степень нарастания канцерогенного риска с увеличением воздействующей дозы на одну единицу. Фактор наклона имеет размерность  $(\text{мг/кг}\cdot\text{день})^{-1}$  для химических веществ или  $(\text{Зв/год})^{-1}$  для радиоактивных веществ. Этот показатель отражает верхнюю, консервативную оценку канцерогенного риска за ожидаемую продолжительность жизни человека (70 лет). Значения SF устанавливаются раздельно для ингаляционного (SF<sub>i</sub>) и перорального (SF<sub>o</sub>) поступления химических канцерогенов. В области радиационной безопасности линейные коэффициенты радиационного риска приводятся для двух типов эффекта (онкозаболевание и генетические последствия) и для взрослого и для всего населения [НРБ, 2009]. Коэффициенты радиационного риска в принципе могут быть рассчитаны для разных возрастных групп и разных рас.

Важно отметить, что в области линейной экстраполяции до настоящего времени отсутствуют прямые данные о проявлении стохастических биологических эффектов.

Вообще чувствительность к канцерогенам определяется несколькими факторами и, в частности, зависят от возраста человека или особи. Так, например, поправочные возрастные коэффициенты для канцерогенного потенциала, согласно рекомендациям US EPA, основаны на итоговом заключении о том, что канцерогенные риски в общем случае выше для экспозиций на ранних стадиях жизни по сравнению с аналогичными экспозициями в более старшем возрасте (таблица 4.1).

Таблица 4.1 - Возрастные поправочные коэффициенты для фактора канцерогенного потенциала генотоксических канцерогенов [US EPA, 2005]

Возрастные группы	Длительность экспозиции, лет	Возрастные поправочные коэффициенты, ADAF
Рожение – < 1 месяц	0,083	10
1– < 3 месяца	0,167	10
3– < 6 месяцев	0,25	10
6– < 12 месяцев	0,5	10
1– < 2 года	1	10
2– < 3 года	1	3
3– < 6 лет	3	3
6– < 11 лет	5	3
11– < 16 лет	5	3
16– < 21 год	5	1
> 21 год < 70 лет	49	1

При оценке рисков от химических веществ следует учитывать три типа воздействия: острое – при продолжительности воздействия менее 2 недель; подострое – при продолжительности от 2 до 7 лет; хроническое – при продолжительности от 7 до 70 лет. В практике радиационной защиты к острому воздействию относится облучение в течение менее 2-х суток, а к хроническому — воздействие в течение ряда лет<sup>10</sup>.

При оценке канцерогенных рисков от поступления химических веществ в организм человека используют средние суточные дозы, усредненные с учетом ожидаемой средней продолжительности жизни человека (70 лет). Такие дозы обозначаются как LADD. Стандартное уравнение для расчета LADD имеет следующий вид:

$$LADD = \frac{C \times CR \times EF \times ED}{BW \times AT \times 365}, \text{ где} \quad (4.5)$$

<sup>10</sup> Точных дефиниций пока нет

- LADD* – поступление (количество химического вещества на границе обмена), мг/кг массы тела в день;
- C* – концентрация канцерогенного вещества в среде (мг/л, мг/м<sup>3</sup>, мг/кг);
- CR* – количество загрязненной среды, контактирующее с телом человека в единицу времени или за один случай воздействия (л/день, м<sup>3</sup>/день, кг/день);
- EF* – частота воздействий, число дней/год;
- ED* – продолжительность воздействия, число лет;
- BW* – масса тела, кг;
- AT* – период осреднения экспозиции (для канцерогенов *AT* = 70 лет);
- 365 – число дней в году.

С использованием вышеприведенной формулы (4.5) могут быть получены средние, обоснованные максимальные (разумные) и максимальные (граничные) оценки экспозиций. Такие оценки учитывают индивидуальную и популяционную вариабельность дескрипторов экспозиции и характеризуют различные участки распределения уровней воздействия в популяции.

Усредненные оценки доз представляют собой средние величины и могут быть рассчитаны с использованием значений, характеризующих так называемую среднюю, центральную тенденцию (среднее арифметическое или медиана). Такой вид экспозиции называют наиболее вероятной экспозицией. Однако, экспозиция и доза часто имеют асимметричное распределение со смещением вправо, поэтому значение среднего арифметического больше, чем медианное значение. В этом случае в качестве средней меры лучше использовать медиану (50-й перцентиль). Или можно применить логарифмическую трансформацию данных и, добившись логнормального распределения, использовать среднее геометрическое в качестве среднего значения.

Потенциальные дозы для верхней границы распределения экспозиций (90-й или 95-й перцентили) являются обоснованной аппроксимацией дозы для индивидуумов, находящихся на верхнем конце распределения экспозиции. Расчет этих доз проводится с использованием дескрипторов экспозиции, большинство из которых (но не все) отражают верхние границы данных параметров в популяции. Такие дозы характеризуют так называемого обоснованно (разумно) максимально экспонированного индивидуума. При выборе уровней факторов экспозиции критически рассматриваются и исключаются наименее вероятные сочетания их максимальных значений (например, объединение наименьшего возможного веса тела с наибольшим возможным поступлением пищи отклоняется как неразумное сочетание).

Факторы экспозиции, используемые в расчетах риска, должны отражать специфические особенности изучаемых популяций и принятых сценариев воздействия. Применение стандартных (принимаемых «по умолчанию») факторов экспозиции допустимо только в скрининговых, сравнительных исследованиях, а также с целью исключения малозначимых химических соединений из перечня приоритетных в плане оценки риска потенциально вредных веществ, в качестве примера приводится сравнение стандартных и региональных факторов экспозиции (таблица 4.2).

Таблица 4.2 - Стандартные (US EPA, ВОЗ) и региональные (город Новодвинск) факторы экспозиции

Факторы	Единицы	Величины	
		Стандартные	Региональные
Хроническое воздействие (взрослые)	лет	30	30
Хроническое воздействие (дети 7–<18 лет)	лет	11	11
Пожизненное воздействие (канцерогены)	лет	70	70
Масса тела (взрослые)	кг	70	64
Масса тела (дети 7–<18 лет)	кг	50	36

Потребление воды (взрослые)	л/день	2	2,25
Потребление воды (дети 7–<18 лет)	л/день	1,5	2,0
Частота экспозиции (взрослые)	дней/год	350	335
Частота экспозиции (дети)	дней/год	350	325
Площадь поверхности тела (взрослые)	м <sup>2</sup>	1,8	1,7
Площадь поверхности тела (дети 7–<18 лет)	м <sup>2</sup>	1,4	1,2
Длительность водных процедур (взрослые)	мин/день	23	30
Длительность водных процедур (дети 7–<18 лет)	мин/день	32	48
Игра на песке, земле (дети 1–<7 лет)	мин/день	45	33
<i>Время пребывания в микросредах</i>			
В жилище (взрослые)	мин/день	900	870
В жилище (дети 7–<18 лет)	мин/день	858	870
На работе (взрослые)	мин/день	500	300
В школе (дети 7–<18 лет)	мин/день	390	270
В транспорте (взрослые)	мин/день	75	50
В транспорте (дети 7–<18 лет)	мин/день	63	30
На открытом воздухе (взрослые)	мин/день	199	180
На открытом воздухе (дети 7–<18 лет)	мин/день	240	240

Этап характеристики риска представляет собой завершающую часть оценки риска и начальную фазу управления риском. На этом этапе интегрируются все данные, полученные в процессе идентификации опасности, оценки зависимости «доза-ответ» и оценки экспозиции; проводится совокупный анализ степени надежности полученных данных; описываются риски для отдельных факторов и их сочетаний, а также характеризуется вероятность и тяжесть возможных неблагоприятных эффектов на здоровье человека. Характеристика риска осуществляется в соответствии со следующими этапами:

1. Обобщение результатов оценки экспозиции и зависимостей «доза-ответ».
2. Расчет значений риска для отдельных маршрутов и путей поступления химических веществ.
3. Расчет рисков для условий агрегированной и кумулятивной экспозиции.
4. Выявление и анализ неопределенностей оценки риска.
5. Обобщение результатов оценки риска и представление полученных данных лицам, участвующим в управлении рисками.

Ведущими принципами характеристики риска являются:

- интеграция информации, полученной в процессе идентификации опасности, оценки экспозиции и зависимости «доза-ответ»;
- характеристика и обсуждение факторов неопределенностей и вариабельности результатов;
- представление информации о характеристике риска в понятной и доказательной форме с указанием на достоверность и ограничения характеристик риска.

Расчет индивидуального канцерогенного риска осуществляется с использованием данных о величине экспозиции и значениях факторов канцерогенного потенциала (фактор наклона, единичный риск). Как правило, для канцерогенных химических веществ дополнительная вероятность развития рака у индивидуума на всем протяжении жизни (CR) оценивается с учетом среднесуточной дозы в течение жизни (LADD):

$$CR = LADD \times SF, \quad \text{где} \quad (4.6)$$

*LADD* – среднесуточная доза в течение жизни, мг/(кг × день);

*SF* – фактор наклона (фактор канцерогенного потенциала), (мг/(кг × день))<sup>-1</sup>.

Наряду с факторами канцерогенного потенциала для оценки риска воздействия веществ некоторых химических классов могут использоваться факторы относительной активности (PEF) или факторы эквивалентной токсичности (TEF), характеризующие канцерогенную способность данного вещества относительно определенного эталонного канцерогена, у которого PEF = 1,0. В частности, значения PEF (TEF) разработаны для полиароматических углеводородов (эталон – бенз(а)пирен), полихлорированных диоксинов и бензофуранов (эталон – 1,4,7,8-тетрахлорпдibenзо-п-диоксин).

При использовании величины единичного риска ( $UR$ ) расчетная формула приобретает следующий вид:

$$CR = LADC \times UR, \quad \text{где} \quad (4.7)$$

$LADC$  — средняя концентрация вещества в исследуемом объекте окружающей среды за весь период усреднения экспозиции (питьевая вода, мг/л; воздух, мг/м<sup>3</sup>);

$UR$  — единичный риск для воды (риск на 1 мг/л) или воздуха (риск на 1 мг/м<sup>3</sup>)

Наряду с расчетами индивидуальных канцерогенных рисков проводится определение величин популяционных рисков ( $PCR$ ), отражающих дополнительное (к фоновому) число случаев злокачественных новообразований, способных возникнуть на протяжении жизни вследствие воздействия исследуемого фактора, которые рассчитываются по следующему соотношению:

$$PCR = CR \times POP, \quad \text{где} \quad (4.8)$$

$CR$  — индивидуальный канцерогенный риск;

$POP$  — численность исследуемой популяции, чел.

Индивидуальный и популяционный канцерогенные риски характеризуют верхнюю границу возможного канцерогенного риска на протяжении периода, соответствующего средней продолжительности жизни человека (70 лет). В связи со стохастическим характером канцерогенного процесса, длительным латентным периодом, различиями в возрастной чувствительности и сложным характером временной и возрастной зависимости вероятности смерти человека точно предсказать сроки развития злокачественных новообразований на основе имеющейся научной информации в популяции не представляется возможным. При сравнительной характеристике риска часто используется величина популяционного годового риска ( $PCRa$ ) – расчетное число дополнительных случаев рака в течение года. Например, в случае анализа канцерогенных влияний загрязнений атмосферного воздуха величина  $PCRa$  будет равна (формула 4.9):

$$PCRa = \sum (C_i \times UR_i) \times \frac{POP}{70}, \quad \text{где} \quad (4.9)$$

$C_i$  – среднегодовая концентрация  $i$ -го вещества;

$POP$  – численность популяции, подвергающейся воздействию;

$UR_i$  – единичный риск за всю жизнь (70 лет).

Величину популяционного годового риска не следует использовать для проведения каких-либо прямых аналогий между уровнями фактической онкологической заболеваемости или смертности и значениями этих рисков. Как полагают, значения канцерогенных рисков отражают, главным образом, долгосрочную тенденцию к изменению онкологического фона, формирующуюся при условии соблюдения всех принятых исследователем исходных условий (например, определенная продолжительность и интенсивность воздействия, неизменность экспозиции во времени, конкретные значения факторов экспозиции и др.). Оцененные риски позволяют проводить сравнения между различными технологиями, а также являются на сегодня основным инструментом управления в области охраны здоровья и окружающей среды от вредных техногенных веществ. Мы уже отмечали это обстоятельство применительно к радиационным рискам. Для всех других канцерогенов это также справедливо.

Канцерогенный риск при комплексном поступлении химического вещества различными путями (перорально, наочно, ингаляционно) и при комбинированном воздействии нескольких химических соединений рассматривается как аддитивный. При углубленном анализе канцерогенных рисков, связанных с воздействием химических веществ, относящихся к группам 1, 2А по классификации МАИР (международное агентство по изучению рака), целесообразно группировать исследуемые канцерогены с учетом вида и/или локализации опухолей. В этом случае расчет суммарных канцерогенных рисков осуществляется отдельно для каждой выделенной группы (например, рак легких, опухоли печени и др.).

При воздействии нескольких канцерогенов суммарный канцерогенный риск для данного пути поступления (например, перорального или ингаляционного) рассчитывается по соотношению:

$$CR_T = \sum CR_j, \quad \text{где} \quad (4.10)$$

$CR_T$  – общий канцерогенный риск для пути поступления Т;

$CR_j$  – канцерогенный риск для j-го канцерогенного вещества.

При одновременном воздействии нескольких канцерогенных веществ, поступающих в организм человека различными путями, расчет общего риска ( $TCR$ ) проводится по соотношению:

$$TCR = \sum CR_T \quad (4.11)$$

Подчеркнем, что наибольшую ценность результаты оценки канцерогенных рисков представляют для сравнительной характеристики воздействия факторов окружающей среды на разных территориях, в разные временные периоды, до и после проведения реабилитационных или оздоровительных мероприятий, для сравнения эффективности и возможного влияния на здоровье человека различных технологических процессов и природоохранных мероприятий.

В процессе оценки рисков используется величина условно принимаемого допустимого (приемлемого) риска — вероятность наступления события, негативные последствия которого настолько незначительны, что ради получаемой выгоды от факторов риска человек или группа людей, или общество в целом готовы пойти на этот риск. Установление величины такого приемлемого риска принципиально важны для проведения всей процедуры оценки и реализации возможностей управления.

На основе научно-практических разработок, выполненных в ФГБУ «НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н.Сысина» Минздравсоцразвития России, и анализа ведущих международных рекомендаций и национального опыта ряда стран предложена классификация уровней риска здоровью населения, отражающая систему градаций не только канцерогенного и других социально значимых эффектов, но и неканцерогенного (по показателям  $HQ$  и  $HI$ ) риска (таблица 4.3).

Таблица 4.3 - Классификация уровней риска

Уровень риска	Индивидуальный пожизненный канцерогенный риск и риск других социально значимых эффектов	Коэффициент опасности развития неканцерогенных эффектов ( $HQ$ ) для отдельных веществ	Индекс опасности развития неканцерогенных эффектов ( $HI$ ) для группы веществ с односторонним действием
Высокий	$> 10^{-3}$	$> 3$	$> 6$
Настораживающий	$1,1 \cdot 10^{-4} - 1,0 \cdot 10^{-3}$	1,1 – 3	3,1 – 6
Допустимый	$1,1 \cdot 10^{-6} - 1,0 \cdot 10^{-4}$	0,11 – 1,0	1,1 – 3,0
Минимальный (целевой)	$10^{-6}$ и менее	0,1 и менее	1,0 и менее

Примечание: Критерии оценки риска по индексу опасности для группы веществ с односторонним действием (т.е. влияющих на одни и те же органы/системы организма) применимы только в тех случаях,



когда ни у одного из компонентов загрязнения коэффициент опасности не превышает 1,0. Если это условие не соблюдается, то оценка проводится по веществу с максимальным значением  $HQ$ .

Обязательным этапом процедуры оценки риска здоровью населения является достаточно полное описание всех ошибок, неточностей, недостаточно надежных предположений и заключений, которые могут отразиться на конечных результатах характеристики риска и формулируемых выводах.

Неопределенности присущи всем этапам оценки риска здоровью, однако в целом наибольшее влияние на достоверность итоговых оценок риска оказывают неопределенности, связанные с оценкой экспозиции, которая именно поэтому часто характеризуется как «ахиллесова пята» оценки риска. В некоторых ситуациях достаточно высокая степень неопределенности может быть связана с установлением токсикологических параметров в экспериментальных условиях и их экстраполяцией на оцениваемые группы населения.

Одним из наиболее очевидных источников неопределенности является неполнота информации об используемых при анализе параметрах, будь то свойства популяции, природной среды (при анализе межсредового распределения и транспорта веществ) или физико-химические свойства вещества. При этом величины могут быть просто не известны с точностью, достаточной для использования точечной оценки, могут варьироваться в популяции, или неточность в их определении может определяться использованием обобщенных, усредненных данных для больших территорий или популяций. Применение так называемых стандартных величин, естественно, сокращает затраты на сбор данных, но при этом одновременно появляются неопределенности оценок экспозиции и риска, величина которых требует соответствующей оценки, в частности, с использованием анализа чувствительности параметров.

Основными источниками неопределенности этапа идентификации опасности являются:

- не полные или не точные сведения об источниках загрязнения окружающей среды, качественных и количественных эмиссий химических или радиоактивных веществ, ошибки и неопределенности в выборе моделей и входящих в них параметров;
- ошибки в прогнозе судьбы и транспорта вредных веществ в окружающей среде;
- степень полноты, достоверности и репрезентативности химико-аналитических данных;
- слабая доказательность или отсутствие данных о вредных эффектах у человека.

Основными источниками неопределенностей, которые могут иметь место при проведении оценки зависимости «доза-ответ», являются:

- связанные с установлением референтного (безопасного) уровня воздействия;
- обусловленные переносом результатов эпидемиологических исследований на оцениваемую экспонируемую популяцию;
- связанные с установлением степени доказанности канцерогенного эффекта у человека;
- при установлении фактора канцерогенного потенциала;
- в определении критических органов/систем и вредных эффектов;
- связанные с незнанием механизмов взаимодействия компонентов смесей химических или радиоактивных веществ или особенностей кинетики и динамики при разных путях поступления вещества в организм и при одновременном его поступлении разными путями;
- времени усреднения референтных уровней воздействия, в том числе ПДК;
- различиями в методологии оценки риска здоровью населения и разработке отечественных, международных (зарубежных) безопасных (референтных) концентраций, в частоте, критериях вредности, факторов экспозиции и значениях коэффициентов неопределенности (коэффициентов запаса).

При анализе неопределенностей, связанных с оценкой экспозиции, выделяют характеристику неопределенностей, которая обычно включает качественное обсуждение всех тех процессов, которые были использованы для отбора и исключения определенных данных, оценок, сценариев и т.д., и оценку неопределенностей, в большей степени, представляющую количественный процесс, который предусматривает как простые измерения (например, диапазонов) или простые аналитические методики (например, анализ чувствительности), так и более сложные способы анализа. Основными источниками неопределенностей, которые могут иметь место при проведении оценки экспозиции, являются:

- выбор или исключение из анализа тех или иных путей воздействия;
- результаты мониторинга, особенно, если они не отражают текущее состояние окружающей среды;
- модели экспозиции, исходные предположения и вводимые в модели параметры, используемые для расчета концентраций в точке воздействия;
- значение физиологических факторов экспозиции, выбранные для расчета величины поступления химических или радиоактивных веществ;
- предположения о частоте и продолжительности различных видов деятельности населения;
- выбранные значения времени осреднения экспозиции;
- ошибки описания, например, информационные ошибки, обусловленные неверной информацией о производителях, потребителях химической продукции;
- ошибки профессионального суждения, например, при выборе подходящего сценария;
- ошибки измерений, ошибки в отборе проб.

Для лиц, принимающих решения по управлению риском, наиболее важными представляются не количественные характеристики уровней риска, а их интерпретация специалистами, проводившими исследование. В связи с этим заключительное обсуждение результатов с анализом неопределенностей является ключевым моментом характеристики риска. Неопределенности этапа характеристики риска в основном связаны с:

- доказательствами того, что в процессе оценки риска здоровью действительно были идентифицированы и изучены наиболее приоритетные и специфические для исследуемой территории химические и радиоактивные вещества;
- установлением параметров канцерогенного риска и индексов опасности неканцерогенных эффектов, превышение которых может потребовать проведения специальных мероприятий по устранению или снижению уровней воздействия источников риска;
- характеристикой достоверности количественной информации о токсичности идентифицированных веществ и сведений о вызываемых ими вредных эффектах;
- характеристикой достоверности данных, использованных при оценке экспозиции;
- характеристикой популяции, подвергающейся воздействию, а также ее наиболее чувствительных групп;
- установлением параметров канцерогенного риска и индексов опасности неканцерогенных эффектов, превышение которых может потребовать проведения специальных мероприятий по устранению или снижению уровней воздействия источников риска;
- определением суммарного риска и суммарных индексов опасности, в основном, касаются вопросов синергизма или антагонизма действия различных смесей химических веществ;
- описанием тех вредных эффектов, которые могут возникнуть при воздействии изученных химических соединений;
- переносом результатов эпидемиологических исследований на оцениваемую экспонируемую популяцию;

- сравнительным анализом полученных данных по оценке риска, имеющихся сведений о состоянии здоровья населения, а также результатов ранее проведенных исследований, характеризующих риски и состояние здоровья человека на сходных по условиям экспозиции территориях;
- определением основных факторов, которые должны быть приняты во внимание в процессе управления риском (приоритетные химические и радиоактивные вещества, пути поступления, загрязняемые объекты окружающей среды, источники поступления химических соединений в окружающую среду, наиболее вероятные вредные эффекты у населения).

Результаты сравнительной оценки и анализа риска в зависимости от масштаба исследуемых проблем могут быть использованы правительственными органами на федеральном и региональном уровнях, службами здравоохранения и охраны природных ресурсов, другими министерствами (энергетики, сельского хозяйства), экологическими службами крупных промышленных объединений или предприятий [Быков и др., 1999].

Данные расчетов канцерогенных и неканцерогенных рисков могут представлять собой очень объемный и нередко разнородный массив информации, который малодоступен для четкого восприятия лицами, принимающими решения по управлению рисками. В связи с этим в процессе характеристики рисков необходимо правильно сгруппировать полученные данные с учетом количественных значений рисков, тяжести и социальной значимости возможных вредных эффектов, экспонируемых групп населения, оцениваемых зон воздействия химических веществ.

#### 4.2.2 Риски для биоты

В основе законодательств по охране окружающей среды от воздействия ионизирующей радиации в большинстве стран с развитой атомной индустрией лежат положения МКРЗ. Однако до конца 80-ых – начала 90-ых гг. прошлого века МКРЗ детально не рассматривала вопросы радиационной защиты объектов окружающей среды – живых организмов, их популяций, сообществ и экосистем. Так, в предыдущих рекомендациях (Публикация 60) позиция МКРЗ в отношении радиационной защиты окружающей среды изложена следующим образом [ICRP, 1991]: ***"Комиссия считает, что нормы контроля окружающей среды, необходимые для защиты человека в той мере, которая в данное время признается желательной, обеспечат безопасность и других биологических видов, хотя случайно их отдельным особям может быть причинен вред, но не до такой степени, которая представляла бы опасность для всего вида или нарушала бы баланс между видами"***. Этот постулат (часто называемый антропоцентрическим) был впервые сформулирован МКРЗ в Публикации 26 [ICRP, 1977] и подвергался критике практически с момента его опубликования.

Аргументация сторонников антропоцентрического подхода основана на нескольких базовых принципах [Алексахин и Фесенко, 2004; Казаков и Уткин, 2008]. Во-первых, человек является одним из наименее радиоустойчивых видов в биосфере; по радиорезистентности к нему близки млекопитающие, являющиеся важным компонентом многих экосистем. Радиоустойчивость большинства животных выше, чем человека, в несколько раз, многих растений – в 10 и более раз, низших организмов – в тысячи раз [Сарапульцев и Гераскин, 1993]. Поэтому можно утверждать, что при достаточной защите человека безопасность большинства видов биоты также будет обеспечена. Во-вторых, радиационными регламентами допустимого техногенного облучения человека предусмотрены достаточно большие коэффициенты запаса. Так, отношение острой полулетальной дозы для человека (3,5 Зв [Ярмоненко и Вайнсон, 2004]) и основного предела дозы для населения (не более 5 мЗв за последовательные 5 лет<sup>11</sup> [НРБ, 2009]) равно по меньшей мере 700, т.е. коэффициент запаса для наиболее радиочувствительного вида составляет почти три порядка, что также повышает гарантию безопасности биоты. Наконец, охрана здоровья человека имеет один из наиболее высоких социальных приоритетов.

<sup>11</sup> В предельном (наиболее консервативном случае) можно полагать, что эта доза получена одномоментно

Однако в отношении химических загрязнителей нормы по безопасности по целому ряду причин не были столь суровы, и запас прочности в отношении человека был не столь велик, а порою и вовсе отсутствовал. В этих условиях биологи и экологи стали наблюдать негативные изменения в отдельных экологических системах. Кислотные дожди, загрязнение биосферы тяжелыми металлами, постоянно образующимися новыми токсическими веществами создали такой пресс на экосистемы, что не замечать его стало невозможно. В научных кругах стал формироваться эоцентрический подход в отношении безопасности. Это движение не могло не коснуться и такого общественно значимого фактора как радиация, несмотря на то, что большинство специалистов — радиоэкологов не видели оснований для серьезного беспокойства. Антропоцентрический подход сыграл положительную роль в формировании политики обеспечения радиационной безопасности природы и вошел в законодательные базы и документы многих стран, гарантируя защиту окружающей среды при развитии ядерной энергетики.

В научном сообществе, однако, начинает активно обсуждаться достаточность сформулированного МКРЗ принципа в отношении охраны биоты [Алексахин и Фесенко, 2004; Казаков и Уткин, 2008; Казаков и Линге, 2004]. Со времени выхода в свет Публикации 26 МКРЗ [ICRP, 1977] опубликовано немало исследований, в которых антропоцентрический принцип обеспечения радиационной безопасности окружающей среды также ставится под сомнение. В обоснование этого подводится определенная концептуальная и логическая база, делаются количественные и сравнительные оценки дозовых нагрузок на человека и наиболее облучаемые, уязвимые звенья живой природы. Так, существуют ситуации, когда в окружающей среде человек отсутствует, а растения и животные подвергаются воздействию ИИ (например, в местах захоронения радиоактивных отходов в глубинах Мирового океана и геологических формациях). При этом повышенному риску могут подвергаться виды, которые, как и человек, располагаются на верхней ступени экологических пирамид, характеризуются низкими темпами размножения, длительным жизненным циклом и высокой радиочувствительностью (например, морские и наземные млекопитающие). На территориях с высокими уровнями радиоактивного загрязнения (головная часть ВУРСа, 30-км зона ЧАЭС, 20-км зона вокруг АЭС «Фукусима-Дайичи») превышение допустимых уровней облучения человека предотвращают с помощью специально разработанных мероприятий (ограничение доступа на загрязненные территории, использование привозных продуктов, контрмеры по снижению содержания радионуклидов в сельскохозяйственной продукции, наконец, отселение населения), но биота подвергается радиационному воздействию без ограничений. Антропоцентрический подход не учитывает, что в одной и той же радиоэкологической ситуации дозы облучения человека и некоторых видов биоты могут отличаться весьма существенно (неэквидозность воздействия). Наиболее заметно различия в дозах облучения человека и других видов проявляются в условиях радиационных аварий и на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате прошлой деятельности предприятий ядерного цикла. Так, сформировавшиеся в условиях аварии на Южном Урале дозы облучения некоторых животных и растений на единицу плотности радиоактивного загрязнения превышали дозу на человека в 10-300 раз [Крышев и Рязанцев, 2010]. Существуют и другие примеры существенного различия дозовых нагрузок на человека и представителей биоты, находившихся в одной и той же радиоэкологической ситуации в одно и то же время [Романов и Спиринов, 1991; Fesenko et al., 2005]. Особенно значительны различия между поглощенными человеком и некоторыми видами биоты (почвенная мезофауна, мышевидные грызуны, корневые системы растений) дозами в условиях высоких уровней загрязнения  $\alpha$ -излучающими радионуклидами [Алексахин и др., 1990; Спиринов и др., 2013]. С учетом близкой радиочувствительности человека и ряда эдификаторных, определяющих функционирование и устойчивость экосистем видов (хвойные древесные породы, многие млекопитающие), становится понятным, что такое соотношение поглощенных доз человеком и другими объектами живой природы требует особого внимания к радиационной защите растений, животных и их сообществ. По мнению многих авторов необходима смена парадигмы — отказ от санитарно-гигиенического подхода к обеспечению радиационной безопасности окружающей среды и переход к экологическим, а не антропоцентрическим принципам регламентирования воздействия

ионизирующей радиации. Во многом к этому подталкивает системный взгляд на безопасность природных сообществ, когда рассматривают не один отдельный фактор воздействия, а всю совокупность воздействий независимо от их природы и даже направленности вызываемых эффектов.

Возросший интерес к обеспечению радиационной защиты окружающей среды нашел отражение в новых рекомендациях МКРЗ [ICRP, 2007], в которых впервые появился раздел «Радиационная защита окружающей среды». В кратком предисловии отмечено, что, несмотря на отсутствие в сегодняшних условиях каких-либо особых оснований для беспокойства о последствиях действия ионизирующих излучений на окружающую среду, существует потребность в рекомендациях по регулированию воздействия радиации на биоту. Кроме того, Комиссия отмечает, что в настоящее время на международном уровне отсутствует единая консолидированная позиция по отношению к уровням содержания радиоактивных веществ в окружающей среде. Признавая важность проблемы защиты окружающей среды, поддержания видового разнообразия, сохранения редких видов, защиты мест обитания и сохранения целостности природных экосистем, МКРЗ подчеркивает сложность формулирования проблемы радиационной защиты биоты, ее качественное отличие от вопросов радиационной защиты человека.

Стремясь сохранить преемственность в своей политике, Комиссия продолжает придерживаться принятого ранее постулата о том, что «соблюдение нормативов радиационной безопасности населения обеспечит отсутствие риска неблагоприятных последствий для представителей других видов» в качестве основного принципа. Однако уточняется, что Комиссия придерживается этого принципа в ситуациях, «когда непосредственно радиационная безопасность человека может оказаться под угрозой, в первую очередь, при поступлении радионуклидов в окружающую среду в штатном режиме». Очевидно, что введение такого ограничения на применение основного принципа антропоцентрического подхода в новые рекомендации МКРЗ стало результатом убедительных доказательств его недостаточности для демонстрации защищенности биоты во всех ситуациях радиационного воздействия.

МКРЗ инициировала разработку специальной программы исследований, в рамках которой на единой методической основе должны быть изучены закономерности формирования дозовых нагрузок, зависимостей доза – эффект и проведена оценка последствий радиационного воздействия у представителей флоры и фауны. Результаты работ, полученные в ходе таких систематических и всеобъемлющих исследований, предполагается в будущем использовать для обсуждения необходимости и возможности модификации системы радиационной защиты. Работа над созданием такой программы была начата еще в 2000 г., когда МКРЗ образовала Рабочую группу для выработки политики в отношении радиологической защиты окружающей среды. В задачу Рабочей группы также входила разработка соответствующей рамочной программы по оценке воздействия ИИ на биоту на основе современных научных знаний и эτικο-философских принципов. Результатом деятельности Рабочей группы стала Публикация 91 МКРЗ «Рамочная программа разработки системы оценки радиационных эффектов у представителей флоры и фауны, за исключением человека» [ICRP, 2003], которая упоминается в Публикации 103 [ICRP, 2007] в качестве первого варианта предполагаемой программы. Отмечается, что Комиссия пытается выработать практические рекомендации для принятия решений в разных ситуациях облучения на основе огромного объема полученной информации, несмотря на наличие большого числа неопределенностей и пробелов в ряде областей знания.

Вопросы действия ИИ на биоту неоднократно рассматривались и другими международными организациями. В 90-ых годах МАГАТЭ и НКДАР ООН опубликовали два больших обзора: «Эффекты действия ИИ на растения и животных при уровнях, соответствующих современным стандартам радиационной защиты» [IAEA, 1992] и «Эффекты ионизирующих излучений в окружающей среде» [UNSCEAR, 1996], в которых на основании обобщения существующей информации были даны первые рекомендации в отношении безопасных уровней облучения биоты.

В российском законодательстве требования регламентирования радиационного качества окружающей среды содержатся в положениях федерального закона «Об охране окружающей среды» [Федеральный, 2002]. Однако в настоящее время в РФ (впрочем, как и в большинстве стран мира) четко сформулированная законодательная, методическая и нормативная база в отношении радиационной защиты биоты отсутствует и тем более такая база не создана в отношении комплексного воздействия на экосистемы.

Разные аспекты методологии экологического нормирования радиационного воздействия на биоту в настоящее время активно развиваются за рубежом [Larsson, 2004; Howard and Larsson, 2008; Howard et al., 2010; Copplestone et al., 2010; Brechignac et al., 2012]. Для обеспечения научной базы радиационной защиты окружающей среды во всех ситуациях облучения МКРЗ была выдвинута концепция референтных животных и растений и предложен набор из 12 таких видов, типичных для разных критических экосистем [ICRP, 2008]. Разработаны и проанализированы модели оценки дозовых нагрузок на референтные виды [Ulanovsky et al., 2008; Vives i Batlle et al., 2012], разрабатываются вопросы экологической дозиметрии [Chambers et al., 2006; Howard et al., 2013]. Подготовлены справочные материалы по коэффициентам накопления радионуклидов в референтной биоте наземных и водных экосистем [ICRP, 2009; Howard et al., 2013]. Обсуждаются проблемы экстраполяции данных между разными уровнями биологической организации (с организменного на популяционный) и ситуациями облучения (от острого к хроническому), установление величин ОБЭ для представителей биоты, влияние экосистемных эффектов и другие вопросы [Bradshaw et al., 2014; Lance et al., 2012; Vives i Batlle et al., 2012; Chambers et al., 2006].

В работах [Казаков и Линге, 2004; Бия и др., 2009] предлагается определить условия применимости антропоцентрического принципа в рамках более общего биосферного подхода (жизнедеятельность населения без ограничений по радиационным критериям в использовании ресурсов окружающей среды для существующих и будущих поколений) и проводить оценку объектов окружающей среды по уровням радиочувствительности и степени аккумуляции радиоактивных веществ, исходя из общесистемных радиоэкологических принципов. Близкая, но более прагматическая точка зрения состоит в том, что в первую очередь должно быть обеспечено существование благоприятной для человека среды обитания с устойчивым функционированием экосистем, что позволит удовлетворить как биоцентрический, так и технократический императивы [Воробейчик и др., 1994; Крышев и Рязанцев, 2010].

Таким образом, хотя в настоящее время официально признанным является антропоцентрический подход, в последние годы в стратегии обеспечения радиационной безопасности человека и окружающей среды происходит усиление экоцентрических принципов. Это связано с осознанием того, что выживание и качество жизни человека зависят от сохранения среды его обитания. В рамках экоцентрического подхода подчеркивается необходимость обеспечения радиационной безопасности собственно природы (живых организмов). Кратко экоцентрическую стратегию формулируют следующим образом: **«человек может быть здоров только в здоровой окружающей среде»** или **«благополучие человека зависит от состояния окружающей среды»**. Все более широкое признание находит также принцип поддержания устойчивого развития биосферы, сформулированный в Декларации об охране окружающей среды [Конференция, 1972], который подразумевает сохранение основных параметров стабильного развития природных и искусственных экосистем в условиях техногенеза. При экологическом подходе в систему радиационной безопасности включается и человек как неотъемлемый элемент биосферы. Поэтому экоцентрический подход является более общим, включающим в себя антропоцентрический как составную часть. В такой трактовке экологический подход к защите человека и окружающей среды отражает современные тенденции в развитии научных и философских взглядов на эволюцию общества, науки и биосферы, у истоков которых стояли выдающиеся ученые-философы В.И. Вернадский и Н.В. Тимофеев-Ресовский [Алексахин и др., 2014].

Одним из ключевых вопросов является выбор и обоснование показателей для оценки радиационного воздействия на биоту. Формой реального существования растений и животных в

природе является популяция, поэтому при переходе от антропоцентрических к эоцентрическим принципам нормирования происходит не только изменение показателей, по которым оно осуществляется, но и смена самого объекта, к которому эти показатели применяются. В его роли выступают не индивидуумы, а системы надорганизменного уровня — популяции, экосистемы, биоценозы. Поэтому при оценке радиационного воздействия на биоту существенное значение придается таким критериям как снижение продолжительности жизни, повышенная заболеваемость, угнетение репродуктивной функции, видовое разнообразие в подвергшихся воздействию экосистемах, частота цитогенетических и наследуемых генетических эффектов [ICRP, 2003]. Все указанные показатели регистрируются на индивидуальном уровне, но в совокупности характеризуют воздействие на популяцию.

Эффект радиационного воздействия на популяционном и экосистемном уровнях является результатом баланса между процессами повреждения и восстановления, которые могут быть модифицированы другими экологическими факторами и находящимися в среде стрессорами нерадиационной природы. Все перечисленные критерии используются и при оценке влияния факторов нерадиационной природы, что создает хорошую основу для разработки единой системы ограничения вредного воздействия техногенных факторов радиационной и нерадиационной природы на биоту.

Для повышения надежности оценок и улучшения интерпретируемости результатов МКРЗ предлагает основное внимание уделять следующим показателям [ICRP, 2007]: преждевременная гибель, угнетение репродуктивной функции, частота цитогенетических эффектов. В ходе работы по сбору и анализу существующей информации о биологическом действии ИИ на биоту наблюдавшиеся в экспериментальных исследованиях радиобиологические эффекты распределяли по четырем обобщенным группам (umbrella endpoints): выживаемость, репродуктивная способность, заболеваемость, генетические и цитогенетические эффекты [Coppelstone et al., 2008; Garnier-Laplace et al., 2006]. Среди названных показателей угнетение репродуктивной функции и частота цитогенетических нарушений относятся к наиболее чувствительным [Geras'kin et al., 2008]. Хотя значительная часть индуцированных ИИ генетических нарушений эффективно элиминируется из популяции в ходе работы восстановительных систем на разных уровнях биологической организации (энзиматическая репарация повреждений и апоптоз, репопуляция клеточного пула, регенерация органов, гибель ослабленных и несущих повышенный генетический груз особей), накопление генетических нарушений может вести к нарушению систем воспроизводства и, как следствие, падению рождаемости, что приведет к уменьшению численности популяции, снижению способности вида противостоять конкурентному давлению других видов и колебаниям природных условий. Поэтому в качестве одного из основных критериев при оценке безопасных уровней облучения биоты следует рассматривать угнетение репродуктивной функции как интегрального показателя радиационного воздействия, изменение которого ведет к неприемлемым трансформациям на популяционном уровне, вплоть до исчезновения подвергнувшегося облучению вида.

Таким образом, цель радиационной защиты биоты можно сформулировать как предотвращение или снижение частоты эффектов, ведущих к преждевременной гибели либо снижению репродуктивного успеха у биологических видов до уровня, при котором обеспечивается сохранение видов и поддержание биоразнообразия.

Аналогично системе радиационной защиты человека, в которой, согласно рекомендациям МКРЗ [ICRP, 2007], индивидуальные годовые дозы выражаются через «уровни озабоченности» (levels of concern), использующие мощность дозы природного радиационного фона в качестве исходной точки, для биоты предлагается ввести систему «уровней обеспокоенности» (DCL – derived consideration levels) [ICRP, 2003]. Пример шкалы DCL приведен в [Pentreath, 2002] для ситуации хронического облучения наземных млекопитающих, таблица 4.4.

Таблица 4.4 - Пример шкалы «уровней обеспокоенности» при хроническом облучении наземных млекопитающих

Уровень обеспокоенности	Уровень радиационного воздействия	Возможное действие на индивидуумов	Степень обеспокоенности
Уровень 6	> 1000 ЕРФ*	Ранняя смертность	Необходимы контрмеры
Уровень 5	> 100 ЕРФ	Пониженный репродуктивный успех	Зависит от того, какие виды и в какой степени могут пострадать
Уровень 4	> 10 ЕРФ	Регистрируемые цитогенетические эффекты	Зависит от типа и площади территории, подверженной воздействию
Уровень 3	ЕРФ		Некоторая озабоченность
Уровень 2	> 0,1 ЕРФ	Незначительные эффекты	Легкая озабоченность
Уровень 1	< 0,1 ЕРФ	Нет	Отсутствует

\*<sup>1)</sup> ЕРФ - естественный радиационный фон

Согласно сложившемуся мнению [Крышев и Рязанцев, 2010] дополнительная доза облучения, находящаяся в пределах изменений природного фона, не может быть идентифицирована как опасная, и нет необходимости ужесточать нормативы радиационной безопасности ниже амплитуды изменений природного фона. Новые рекомендации МКРЗ [ICRP, 2007] хотя и не упоминают о концепции «уровней обеспокоенности», но предполагают сравнение испытываемых представителями флоры и фауны дополнительных дозовых нагрузок (превышающих уровни ЕРФ) как со значениями мощностей доз излучения, которые могут приводить к определенным биологическим эффектам у этих организмов, так и с уровнями ЕРФ в их обычной среде обитания.

Ключевым моментом методик оценки радиационного воздействия на природную среду является установление критических дозовых нагрузок для биоты в целом или для основных таксономических групп организмов, с учетом которых определяют промежуточные, контрольные или скрининговые допустимые уровни воздействия на каждом из этапов оценки. Как правило, рекомендации в отношении допустимых уровней радиационного воздействия основываются на экспертном обзоре существующих данных о зависимости биологического эффекта у представителей живой природы от дозы или мощности дозы облучения и выявлении на их основе уровней воздействия, при которых проявление негативных эффектов представляется маловероятным.

С целью унификации подходов к нормированию факторов разной природы рядом национальных природоохранных агентств [Coplestone et al., 2001; CNSC, 2002; DOE Standard, 2002] предложено при разработке методики оценки критических дозовых нагрузок в качестве основы использовать методологию оценки экологического риска (Ecological Risk Assessment — ERA), применяемую в настоящее время в некоторых европейских странах, США и Канаде для ограничения негативного воздействия химических загрязняющих веществ на биоту. Возможность адаптации методологии ERA к ситуации действия ИИ на природные популяции и биоценозы изучалась в международных проектах FASSET [Larsson, 2004], ERICA [The ERICA project, 2008], PROTECT [Howard et al., 2010].

В рамках методологии ERA для оценки предельно допустимых уровней используют два основных подхода [EC, 2003; Garnier-Laplace et al., 2008]: детерминистский или консервативный и метод вероятностных распределений. Оба подхода базируются на критических экотоксических величинах (EC), в качестве которых при хроническом воздействии устанавливается концентрация токсиканта, приводящая к 10%-ному изменению регистрируемого эффекта в экспонированной группе организмов по отношению к контрольной группе, а в случае острого воздействия — к 50%-ному изменению. Соответственно, при действии ИИ в качестве критических экотоксических величин было предложено рассматривать дозу ED<sub>50</sub>, вызывающую 50%-ное изменение показателя



при остром действии ИИ, и мощность дозы  $EDR_{10}$ , приводящую к 10%-ому изменению при хроническом действии ИИ (рисунок 4.5).

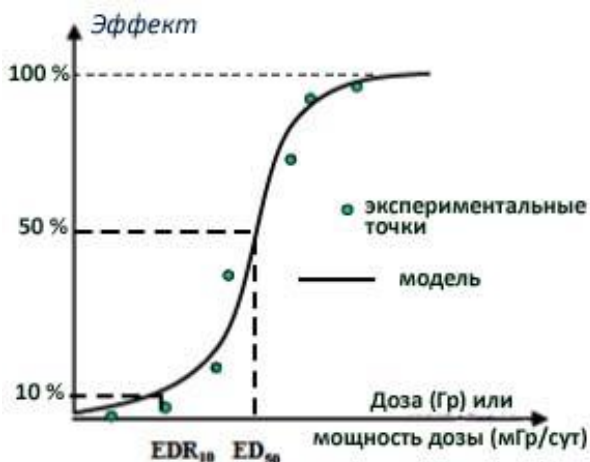


Рисунок 4.5 - Критические экотоксические величины при остром ( $ED_{50}$ ) и хроническом ( $EDR_{10}$ ) действии источника ионизирующего излучения [Garnier-Laplace et al., 2008]

Критические экотоксические величины устанавливаются экспериментально для как можно большего числа видов в биоценозе. При необходимости оценки ущерба какому-либо виду в диапазоне от предельной дозы до, например,  $EDR_{10}$  можно воспользоваться линейной экстраполяцией от величины предельной дозы (при которой число дополнительно погибших особей равно 0) до  $EDR_{10}$  (когда погибает 10% популяции данного вида). Подробнее об этом будет сказано ниже.

При использовании консервативного метода допустимый уровень (предельная доза) устанавливается путём деления минимального значения ЕС, найденного для самого чувствительного вида в биоценозе, на коэффициент запаса. Коэффициенты запаса могут значительно варьировать – от 10 до 1000 [Garnier-Laplace et al., 2010], в зависимости от качества и количества исходных данных. Метод коэффициентов запаса (консервативный) используется на этапе первичных оценок либо в случаях (весьма распространенных), когда ограниченный объем имеющихся данных не позволяет сделать более реалистичные оценки. Изложенный подход позволяет, прежде всего, обратить внимание на существование проблемы и заставляет задумываться о мерах по защите объектов окружающей среды.

В отличие от консервативного подхода, опирающегося на единственное (наименьшее значение) ЕС, был разработан метод вероятностных распределений, который использует все имеющиеся критические экотоксические величины для построения распределения видов, составляющих биоценоз, по чувствительности (SSD – species sensitivity distribution) в зависимости от уровня воздействия токсиканта. В качестве допустимого уровня воздействия берут дозу токсиканта, соответствующую  $\alpha$ -процентили вероятностного распределения. Как правило, используется 5%-ная процентиль, которую обозначают  $HD(R)_{5\%}$  для случая радиационного воздействия (рисунок 4.6). Принятие предельно допустимой радиационной нагрузки на уровне  $HD(R)_{5\%}$  будет означать, что при дозах (мощностях дозы) ниже  $HD(R)_{5\%}$  доля видов в экосистеме, для которых радиационный эффект составит более 50% от контрольного уровня при остром облучении или более 10% – при хроническом, не будет превышать 5%. Это условие выражает в количественных терминах требование сохранения биоразнообразия в природных сообществах и позволяет установить точку количественного отсчёта для оценки возможного ущерба в целом для всего рассматриваемого биоценоза. Хотя оба подхода имеют ряд недостатков, с их помощью удастся практически реализовать процедуры оценки экологических рисков на основе доступной информации.

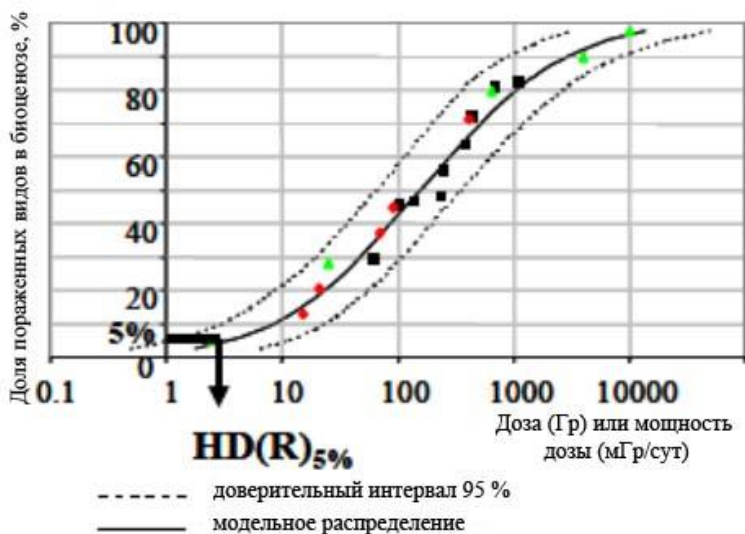


Рисунок 4.6 - Распределение видов по радиочувствительности (цветные символы на графике) и оценка допустимого уровня радиационного воздействия на экосистему [Garnier-Laplace et al., 2013]

### 4.3 Результаты оценки рисков для населения отдельных территорий

Опыт оценки рисков для реальных селитебных территорий крайне невелик. Проблемы здесь и с организацией качественного мониторинга за загрязняющими веществами и реконструкцией объёмных полей их воздействия на население и в особенности на биоту. Острый недостаток и в качественных эпидемиологических обобщениях и в отсутствии обоснованных критериев риска. Тем не менее, отдельные попытки проведения исследований в данном направлении предпринимаются. В данном разделе будут рассмотрены некоторые примеры использования изложенной выше методологии применительно к конкретным территориям.

#### 4.3.1 Пример практического исследования по многосредовой оценке риска при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду в городе Новодвинске

В настоящее время в России насчитывается более 300 моногородов, где жизнь населения зависит от одного или двух предприятий. Целлюлозно-бумажная промышленность является одной из основных отраслей экономики на территории Архангельской области. ОАО «Архангельский целлюлозно-бумажный комбинат» (ОАО «АЦБК») составляет основу промышленного производства в городе Новодвинске и является одним из ведущих лесохимических предприятий Европы и Российской Федерации.

Цель представленного ниже исследования заключалась в оценке риска здоровью различных групп населения в городе Новодвинске при многосредовом воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду, и разработке научно обоснованных рекомендаций, направленных на минимизацию уровней риска.

Качество атмосферного воздуха изучено по данным мониторинга ФГБУ «Северное УГМС» за 2001–2011 годы, и поле концентраций приоритетных примесей получено моделированием с использованием модуля УПРЗА «Эколог».

Влияние химических веществ в производственной среде ОАО «АЦБК» изучено по данным протоколов исследований воздуха рабочей зоны. Для оценки качества питьевой воды, почвы и

пищевых продуктов использованы данные ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Архангельской области» за 2003–2011 годы.

Полный сценарий включал оценку воздействия химических веществ атмосферного воздуха, питьевой воды, почвы и пищевых продуктов при их одновременном поступлении различными путями для разных групп населения: детей 1-6 лет, детей 7-17 лет, взрослого населения 18 лет и старше, совокупного населения. Расчёт поступления химических веществ в организм проводился на уровне медианных концентраций их содержания в объектах окружающей среды и по верхней границе экспозиции (90-й перцентиль).

Характеристика риска общетоксических эффектов проводилась на основе коэффициентов опасности для отдельных веществ (HQ) и индексов опасности для веществ однонаправленного действия (HI), а также суммарного индекса опасности при многосредовой экспозиции (THI). Канцерогенный риск характеризовался с помощью суммарного канцерогенного риска для смеси канцерогенов (CRT), общего канцерогенного риска (TCR) при одновременном воздействии нескольких канцерогенных веществ, поступающих в организм различными путями из разных сред и популяционного канцерогенного риска (PCR).

Идентификация опасности показала, что наибольший вклад в загрязнение окружающей среды Новодвинска вносит ОАО «АЦБК», на долю которого приходится 99% всех выбросов и сбросов предприятий города. По данным мониторинга атмосферного воздуха за 2001–2011 годы среднегодовые концентрации формальдегида и бенз(а)пирена были выше установленных гигиенических нормативов в 2 раза, а их концентрации на уровне 90-го перцентилля превышали предельно-допустимые концентрации (ПДК) в 2,5 и 3,4 раза соответственно; превышение гигиенических нормативов по другим примесям не выявлено. Всего в перечень приоритетных для последующего расчёта риска вошли 25 соединений, из которых 6 являются канцерогенами.

При моделировании рассеивания выбросов территория города была разделена на три микрорайона. В первом микрорайоне города, наиболее приближенном к ОАО «АЦБК», уровни загрязнения атмосферного воздуха химическими веществами, содержащимися в выбросах целлюлозно-бумажного комбината, в 1,2-2 раза превышали расчётные концентрации примесей по сравнению со вторым и третьим микрорайонами города, более удалёнными от комбината.

Источником водоснабжения города Новодвинска является река Северная Двина. Вода в распределительной сети имеет повышенную цветность, перманганатную окисляемость, низкую минерализацию, высокое содержание алюминия, железа, марганца и хлороформа. Медианные концентрации алюминия, железа и хлороформа за 2006–2011 годы не превышали ПДК, а их концентрации на уровне 90-го перцентилля оказались выше гигиенических нормативов в 1,2-1,7 раза. К приоритетным веществам в питьевой воде, от воздействия которых оценивался риск, было отнесено 13 примесей.

Анализ содержания загрязняющих веществ в пищевых продуктах за 2003–2011 годы показал, что содержание нитратов в плодоовощной продукции, выращенной на территории Архангельской области, в два раза выше, чем в овощах, выращенных за её пределами. К приоритетным химическим веществам, загрязняющим пищевые продукты, для последующего расчёта риска были отнесены 5 соединений. К приоритетным веществам почвы для оценки риска было отнесено 8 примесей.

В структуре первичной заболеваемости детского и взрослого населения, проживающего в Новодвинске, первое место занимают болезни органов дыхания (58% и 30% соответственно). Анализ распределения частот заболеваемости болезнями органов дыхания по микрорайонам города показал, что среди детского населения, проживающего в первом микрорайоне, уровни заболеваемости острым бронхитом (158,0‰) и бронхиальной астмой (28,8‰) статистически значимо в 1,2-1,6 раза выше по сравнению с заболеваемостью детей из двух других микрорайонов (таблица 4.5).

Среди взрослого населения, проживающего в первом микрорайоне, заболеваемость ОРВИ (232,2‰) и хроническим бронхитом (25,9‰) превышала частоту данных болезней у населения

второго и третьего микрорайонов в 1,1-1,2 раза, однако статистически значимые различия в уровнях общей заболеваемости хроническим бронхитом установлены только между первым и третьим микрорайонами (таблица 4.5).

Таблица 4.5 - Заболеваемость населения по микрорайонам города Новодвинска (средняя частота  $\pm$  95% доверительный интервал на 1000 соответствующей возрастной группы)

Группа, лет	Диагноз	Микрорайон 1	Микрорайон 2	Микрорайон 3	p***
0 – 17	Острый бронхит*	158,0 $\pm$ 14,1	124,4 $\pm$ 13,4	137,3 $\pm$ 13,3	p <sub>1-2</sub> <0,001 p <sub>1-3</sub> =0,038
	Бронхиальная астма**	28,8 $\pm$ 16,9	20,9 $\pm$ 15,9	18,2 $\pm$ 14,3	p <sub>1-2</sub> <0,001 p <sub>1-3</sub> <0,001
18 и старше	ОРВИ*	223,2 $\pm$ 80,0	182,2 $\pm$ 75,0	211,0 $\pm$ 76,0	p <sub>1-2</sub> <0,001 p <sub>1-3</sub> <0,031
	Хронический бронхит**	25,9 $\pm$ 3,1	23,7 $\pm$ 3,0	21,1 $\pm$ 2,7	p <sub>1-2</sub> =0,296 p <sub>1-3</sub> =0,020

Примечание: \* – первичная заболеваемость;  
\*\* – общая заболеваемость;  
\*\*\* – достигнутый уровень статистической значимости.

Анализ распределения коэффициентов смертности по микрорайонам города Новодвинска показал, что уровни смертности от всех причин, исключая внешние причины, среди совокупного населения в возрастных группах 30-44 года, 45-64 года, 65 лет и старше в первом микрорайоне (38,2%; 143,8%; 681,0% соответственно) в 1,2-1,6 раза выше по сравнению с показателями смертности среди населения, проживающего на территориях второго и третьего микрорайонов (таблица 4.6). Кроме того, в первом микрорайоне среди населения в возрастной группе 45-64 года смертность от болезней органов кровообращения (80,4%) и органов дыхания (10,7%) в 1,2-2,3 раза выше, чем у населения, проживающего во втором и третьем микрорайонах города.

Таблица 4.6 - Смертность населения по микрорайонам города Новодвинска (средняя частота  $\pm$  95% доверительный интервал на 1000 соответствующей возрастной группы)

Группа лет	Диагноз	Микрорайон 1	Микрорайон 2	Микрорайон 3	p*
30–44	Все причины, кроме внешних	38,2 $\pm$ 6,9	36,1 $\pm$ 7,1	24,3 $\pm$ 5,6	p <sub>1-2</sub> =0,680 p <sub>1-3</sub> =0,002
45–64	Болезни органов кровообращения	80,4 $\pm$ 9,1	67,1 $\pm$ 8,1	66,2 $\pm$ 7,7	p <sub>1-2</sub> =0,031 p <sub>1-3</sub> =0,018
	Болезни органов дыхания	10,7 $\pm$ 3,4	4,7 $\pm$ 2,2	6,2 $\pm$ 2,4	p <sub>1-2</sub> =0,003 p <sub>1-3</sub> =0,031
	Все причины, кроме внешних	143,8 $\pm$ 11,7	123,4 $\pm$ 10,7	119,8 $\pm$ 10,0	p <sub>1-2</sub> =0,011 p <sub>1-3</sub> =0,002
65 и старше	Злокачественные новообразования	129,4 $\pm$ 19,7	92,0 $\pm$ 15,3	106,9 $\pm$ 16,6	p <sub>1-2</sub> =0,002 p <sub>1-3</sub> =0,085
	Все причины, кроме внешних	681,0 $\pm$ 27,4	599,0 $\pm$ 26,0	676,2 $\pm$ 25,2	p <sub>1-2</sub> =0,001 p <sub>1-3</sub> =0,798

Примечание: \* – достигнутый уровень статистической значимости.

Анализ индексов опасности при многосредовой экспозиции химических веществ на уровне медианных концентраций показал, что наибольшему риску развития общетоксических эффектов у всех групп населения подвергаются органы дыхания (рисунок 4.7). Для детей в возрастной группе 1-6 лет риск развития неканцерогенных эффектов со стороны органов дыхания является высоким (ТНІ=9,9), для детей 7-17 лет и взрослого населения – настораживающим (ТНІ=5,7 и 4,5 соответственно). Ведущей средой, оказывающей неблагоприятное действие на дыхательную систему, является атмосферный воздух. Основной вклад в риск развития патологии со стороны

органов дыхания принадлежит формальдегиду (36%), взвешенным частицам (16%), диоксиду азота (10%), хлору и диоксиду хлора (15%), сероводороду (8%) и метилмеркаптану (6%).

Популяционный риск влияния общей фракции взвешенных частиц (TSP) может составлять до 10 случаев дополнительной смерти в год среди населения города от всех причин, исключая внешние причины. Ущерб, связанный со смертностью от болезней органов кровообращения из-за воздействия TSP, составляет 4 случая, а от болезней органов дыхания – 2 случая. Атрибутивное число обращений по поводу обструктивных болезней лёгких среди общей популяции, обусловленное влиянием взвешенных частиц, составляет 15 случаев в год.

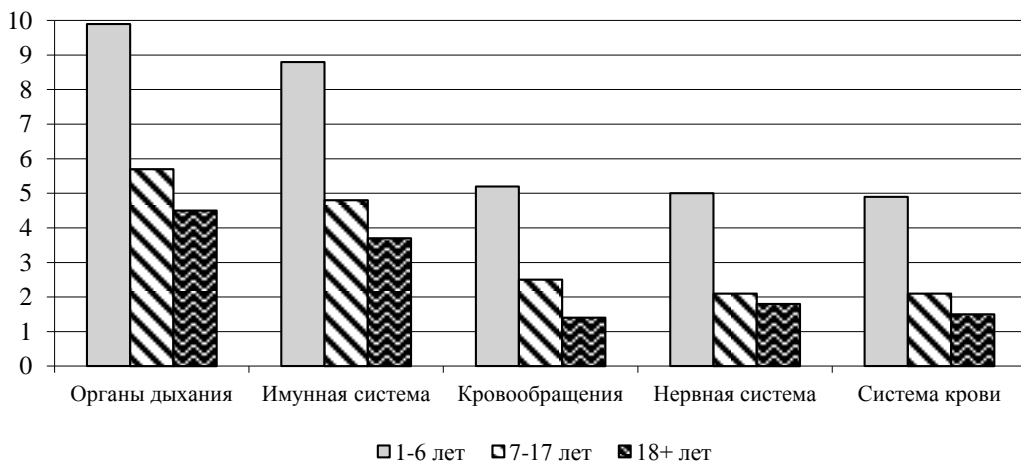


Рисунок 4.7 - Суммарные индексы опасности (ТНИ) при многосредовом воздействии химических веществ для разных возрастных групп населения в Новодвинске

Высокий риск развития общетоксических эффектов со стороны иммунной системы выявлен для детей в возрастной группе 1–6 лет (ТНИ=8,8) и настораживающий риск – для детей в возрастной группе 7–17 лет и взрослого населения (НИ=4,8 и 3,7 соответственно) (рисунок 4.7, таблица 4.7). Основной вклад в риск развития неканцерогенных эффектов вносят химические вещества, загрязняющие атмосферный воздух (формальдегид и бенз(а)пирен) и пищевые продукты (мышьяк) – 84% и 15% соответственно. Кроме того, настораживающий риск развития неканцерогенных эффектов установлен со стороны органов кровообращения, нервной системы и системы крови только у детей в возрастной группе 1–6 лет (ТНИ=5,2; 5,0; 4,9 соответственно).

Таблица 4.7 - Ранжирование критических органов и систем органов по уровню риска развития общетоксических эффектов среди населения Нововинска при многоуровневом и комплексном воздействии химических веществ на уровне медианных концентраций

Органы и системы	Индексы опасности по возрастным группам			Приоритетная среда	Приоритетный путь	Приоритетные вещества
	1-6 лет	7-17 лет	18+ лет			
Органы дыхания	9,9	5,7	4,5	воздух (100%)	ингаляционный (100%)	формальдегид (36%), взвешенные частицы (16%), диоксид азота (10%), хлор и диоксид хлора (15%), сероводород (8%), метилмеркаптан (6%)
Иммунная система	8,8	4,8	3,7	воздух (84%), продукты (15%)	ингаляционный (83%), пероральный (17%)	формальдегид (42,7%), бенз(а)пирен (40,5%), мышьяк (14,6%)
Органы кровообращения	5,2	2,1	1,4	продукты (64%), вода (19%), воздух (17%)	пероральный (81%), ингаляционный (18%)	нитраты (30%), мышьяк (30%), углерода оксид (17%), хлороформ (8%), свинец (7%)
Нервная система	5,0	2,5	1,8	воздух (50%), продукты (34%), вода (16%)	ингаляционный (50%), пероральный (50%)	мышьяк (28%), сероводород (19%), углерода оксид (15%), метилмеркаптан (14%), свинец (7%), хлороформ (7%)
Система крови	4,9	2,1	1,5	воздух (46%), продукты (33%), вода (20%)	пероральный (52%), ингаляционный (47%)	нитраты (30%), азота диоксид (27%), углерода оксид (17%), свинец (8%), хлороформ (8%), марганец (7%)
Почки	2,9	1,3	0,9	продукты (65%), вода (31%)	пероральный (93%)	мышьяк (53%), хлороформ (14%), свинец (13%), марганец (12%)
Печень	2,2	1,0	0,7	продукты (65%), вода (32%)	пероральный (95%)	мышьяк (65%), хлороформ (17%), марганец (14%)
Органы пищеварения	2,1	0,9	0,6	продукты (91%)	пероральный (99%)	мышьяк (71%), свинец (17%)
Кожа	1,9	0,9	0,6	продукты (76%), вода (24%)	пероральный (98%)	мышьяк (76%), хлороформ (20%)
Нарушение развития	1,7	0,8	0,5	воздух (51%), вода (30%), продукты (18%)	ингаляционный (53%), пероральный (46%)	углерода оксид (45%), хлороформ (22%), свинец (20%)
Репродуктивная система	1,0	0,4	0,3	вода (57%), продукты (34%), воздух (9%)	пероральный (86%), ингаляционный (12%)	хлороформ (41%), свинец (38%), ртуть (18%)

Приоритетной воздействующей средой, оказывающей неблагоприятное действие на сердечно-сосудистую систему, являются пищевые продукты (64%). Вклад питьевой воды и атмосферного воздуха в риск развития патологии органов кровообращения примерно одинаков – 19% и 17% соответственно. Наибольший вклад в экспозицию принадлежит пероральному пути (81%) за счёт нитратов и мышьяка (по 30%), загрязняющих пищевые продукты, а также хлороформу (8%) и свинцу (7%), поступающих с питьевой водой.

Настораживающий риск развития общетоксических эффектов со стороны нервной системы для детей в возрастной группе 1-6 лет обусловлен химическими веществами, загрязняющими атмосферный воздух (50%): сероводороду (19%), оксиду углерода (15%) и метилмеркаптану (14%). Вклад химических веществ пищевых продуктов и питьевой воды в риск развития патологии нервной системы составляет 34% и 16% соответственно, преимущественно за счет мышьяка, свинца и хлороформа.

Приоритетной воздействующей средой для системы крови является атмосферный воздух (46%), вклад пищевых продуктов и питьевой воды составляет 33% и 20% соответственно. Основной вклад в риск развития патологии со стороны системы крови принадлежит нитратам (30%), диоксиду азота (27%), оксиду углерода (17%), свинцу, хлороформу и марганцу (по 8%).

Характеристика канцерогенного риска показала, что на уровне медианных концентраций канцерогенов атмосферного воздуха суммарный канцерогенный риск является настораживающим ( $CR_T=2,5 \cdot 10^{-4}$ ) и формируется преимущественно за счет формальдегида (94%). Суммарный канцерогенный риск при воздействии канцерогенов питьевой воды является допустимым ( $CR_T=1,9 \cdot 10^{-5}$ ). Основной вклад в канцерогенный риск среди канцерогенных веществ, загрязняющих питьевую воду, принадлежит хлороформу (60%). Канцерогенные вещества, загрязняющие почву, обуславливают минимальный уровень риска ( $CR_T=9,2 \cdot 10^{-7}$ ).

Диапазон общего канцерогенного риска в сумме для всех путей и всех канцерогенов может варьировать от настораживающего ( $TCR=2,7 \cdot 10^{-4}$ ) до высокого уровня ( $TCR=4,8 \cdot 10^{-3}$ ), что обусловлено трудностью лабораторного контроля форм мышьяка (органическая или неорганическая) в пищевых продуктах. И если настораживающий общий канцерогенный риск обусловлен преимущественно формальдегидом атмосферного воздуха (85%), то высокий уровень общего канцерогенного риска может быть связан, главным образом, с неорганической формой мышьяка в пищевых продуктах (94%).

Суммарное дополнительное число злокачественных новообразований среди населения Новодвинска, обусловленных канцерогенными веществами всех сред, составит при настораживающем уровне общего канцерогенного риска 11 случаев дополнительного рака за 70 лет (0,15 случаев в год), при высоком уровне риска – 202 случая рака за 70 лет (2,8 случая в год).

В связи с тем, что целлюлозно-бумажная промышленность является градообразующей отраслью в Новодвинске, и в ней занято 25% трудоспособного населения города, выполнена сравнительная характеристика риска для работающих на ОАО «АЦБК». Установлено, что работающие в основных производствах целлюлозно-бумажного комбината подвергаются воздействию комплекса неблагоприятных факторов (различных видов пыли, метилсернистых соединений, формальдегида, свинца, хлора, повышенной и пониженной температуре, производственному шуму, вибрации, физическим нагрузкам и др.).

Риск развития неблагоприятных эффектов со стороны органов дыхания у работающих на ОАО «АЦБК» является высоким ( $HI=16,0$ ) за счет различных видов аэрозолей дезинтеграции. При последовательной экспозиции вклад производственной среды в общий риск неканцерогенных эффектов для органов дыхательной системы составляет 86%.

Характеристика канцерогенного риска показала, что экспозиция канцерогенов воздуха рабочей зоны основных производств ОАО «АЦБК» формирует высокий уровень риска ( $9,7 \cdot 10^{-3}$ ). Канцерогенный риск, обусловленный канцерогенами производственной среды, вносит основной

вклад (89–99%) в суммарный канцерогенный риск при последовательной и многосредовой экспозиции для работающего населения на ОАО «АЦБК».

Таким образом, примененный комплексный подход, состоящий в едином изучении качества среды, здоровья разных групп населения и оценки риска здоровью при последовательном и многосредовом воздействии, послужил основой разработки предложений для управленческих решений, направленных на снижение загрязнения окружающей среды и улучшение состояния здоровья населения в городе Новодвинске.

#### **4.3.2 Сопоставительный анализ радиационных и химических рисков для здоровья населения Красноярского края**

Красноярский край устойчиво лидирует среди субъектов РФ по объему выбросов загрязняющих веществ, поступающих от стационарных источников (13% от общероссийских выбросов). В 2011 году выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников составили 2516,8 тыс. т, от автотранспорта поступило 428 тыс. т. Высокий уровень загрязнения городского воздуха является значимым фактором риска для здоровья населения и в других крупных промышленных центрах страны. В 2007-2012 гг. более 55 млн человек проживало в городах с высоким и очень высоким уровнем хронического загрязнения атмосферного воздуха, а более 11 млн человек испытывало воздействие загрязняющих веществ, разовая концентрация которых превышала 10 ПДК [Обзор, 2013]. Загрязнение воздуха взвешенными частицами в городах нашей страны могло являться причиной более 300 тысяч дополнительных случаев смерти в год, что составляет около 17% общей смертности [Рахманин и др., 2009].

Загрязнение воздуха является основным экологическим фактором риска и для здоровья населения стран Европы. Загрязнение атмосферного воздуха взвешенными веществами в 40 европейских странах обуславливает по оценкам до 500 тысяч случаев преждевременной смерти ежегодно [Health, 2010].

На территории края полвека Горно-химический комбинат (ГХК) занимался наработкой оружейного плутония, создавая ядерный щит страны. В результате работы прямоточных реакторов (остановлены в 1992 г.) произошло долговременное загрязнение поймы и русла р. Енисей. Сопоставительному анализу рисков от различных факторов воздействия на здоровье населения в последнее время было посвящено ряд публикаций, целью которых было предоставление общественности информации по экологической приемлемости различных производств на территории края и оценить роль радиационного фактора, связанного с деятельностью ГХК, среди современных техногенных экологических угроз здоровью населения Красноярского края [Арутюнян и др., 2014; Арутюнян и др., 2015].

Красноярский край попадает в группу наиболее неблагоприятных по уровню смертности от ЗНО регионов страны. Смертность в крае в среднем за период 2007-2011 гг. составила 243 случая на 100 тыс. человек (риск смерти от ЗНО  $\approx 243 \cdot 10^{-5}$ ), что на 18% выше среднего по стране значения – 206 случаев на 100 тыс. человек (риск смерти от ЗНО  $\approx 206 \cdot 10^{-5}$ ), и по этому показателю край занимает 78 место из 80 (рисунок 4.8).

В основу оценок риска были положены данные системы социально-гигиенического мониторинга Роспотребнадзора и государственной системы мониторинга Росгидромета за 2007-2011 гг. об уровнях химического загрязнения объектов окружающей среды: атмосферного воздуха — в 8 городах края, питьевой воды и почвы — на 55 административных территориях края; данные многолетнего радиационного мониторинга зоны наблюдения ГХК и радиационно-гигиенических паспортов Красноярского края, результаты специальных ранее проведенных исследований по оценке радиационной обстановки и доз облучения населения, проживающего в долине р. Енисей. Столь масштабные работы по оценке риска для здоровья населения в Красноярском крае проводились впервые.



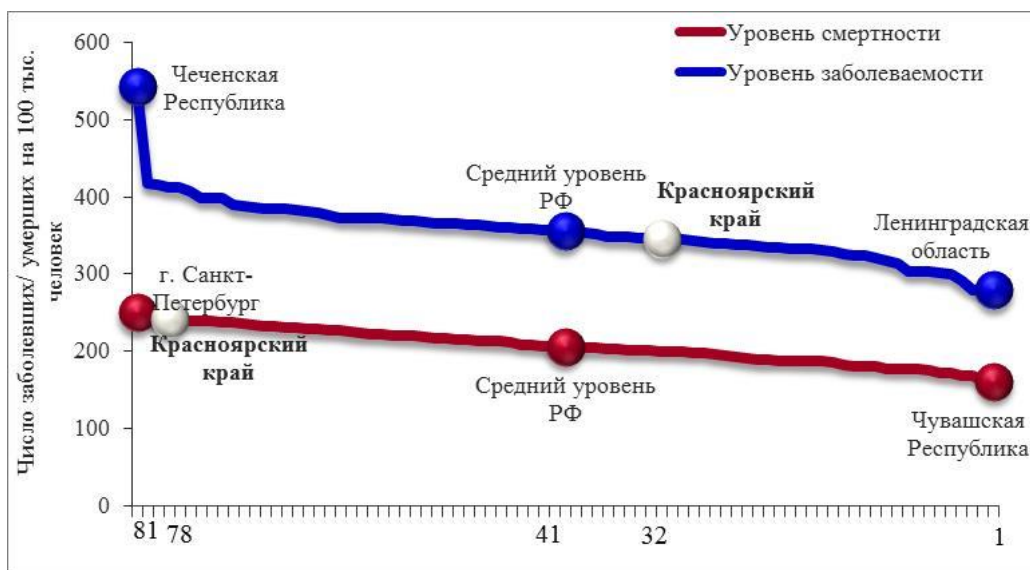


Рисунок 4.8 - Позиция Красноярского края в ряду регионов Российской Федерации по уровню заболеваемости и смертности злокачественными новообразованиями. По шкале абсцисс — место региона в стране

Оценка рисков и ущербов здоровью населения от воздействия химических факторов окружающей среды проводилась в соответствии с Руководством 2.1.10.1920-04 [Руководство, 2004], утвержденным Роспотребнадзором, и с учетом современных рекомендаций Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), а оценка рисков дополнительного радиационного воздействия в соответствии с НРБ-99/2009.

Значительные объемы выбросов загрязняющих веществ в сочетании с неблагоприятными для рассеивания примесей метеорологическими условиями приводят к сильному загрязнению атмосферного воздуха в городах Красноярского края. По данным регулярных наблюдений в городах Ачинск, Дивногорск, Канск, Красноярск, Лесосибирск, Минусинск, Назарово, Норильск (где проживает 73% городского населения и 56% от общей численности населения края) степень загрязнения воздуха оценивается как очень высокая и высокая [Обзор, 2012]. Пять городов края — Ачинск, Красноярск, Лесосибирск, Минусинск, Норильск, ежегодно включаются в Приоритетный список городов РФ с наибольшим уровнем хронического загрязнения атмосферного воздуха ( $ИЗА^{12} \geq 14$ ) и периодически попадают в Перечень городов, в которых зарегистрированы случаи высокого загрязнения атмосферного воздуха (более 10 ПДК<sub>м.р.</sub>). Приоритетными примесями, загрязняющими воздух в городах края, являются диоксид серы и диоксид азота, взвешенные вещества, формальдегид, бенз(а)пирен.

Расчеты показали, что риск преждевременной смерти от суммарного воздействия загрязняющих веществ в городах края составляет от 80 до 242 случаев на 100 тыс. человек в год. Максимальные значения риска прогнозируются для населения Норильска - 242 дополнительных случаев смерти на 100 тыс. населения (риск —  $2,4 \cdot 10^{-3}$ ) в год, что связано с сильным загрязнением воздуха сернистым ангидридом, среднегодовые концентрации которого превышают рекомендуемые ВОЗ [WHO, 2006] пороговые уровни в 40 раз. Вторую и третью позицию занимают Ачинск - 154 и Канск - 114 дополнительных случаев смерти на 100 тыс. населения в год.

<sup>12</sup> Комплексный показатель степени загрязнения атмосферы, рассчитываемый в соответствии с методикой (РД 52.04 186-89)

В Красноярске прогнозируется до 112 преждевременных смертей на 100 тыс. населения (риск —  $1,1 \cdot 10^{-3}$ ).

Вклад загрязнения в общую смертность населения города Красноярска (без учета внешних причин) достигает 10%. В других городах Красноярского края ежегодный вред здоровью составляет от 26 дополнительных случаев смерти в Дивногорске до 426 случаев в Норильске. Вклад в общую смертность населения достигает наибольших величин в г. Норильске – 40%. Суммарный вред здоровью населения восьми городов, где ведется мониторинг качества атмосферного воздуха, оценивался в 2007 дополнительных случаев смерти в год, что составляет 8% от общей смертности городского населения края. Основной вклад (более 80%) в формирование возможного ущерба вреду здоровью вносит воздействие взвешенных веществ (особенно их мелкодисперсные фракции РМ 2,5, РМ 10) и диоксида серы.

Загрязнение воздуха химическими веществами, обладающими канцерогенными свойствами, обуславливает также дополнительный риск развития онкозаболеваний. Расчеты показали, что индивидуальные канцерогенные риски для населения всех исследованных городов находятся в диапазоне  $1,1 \cdot 10^{-4}$  -  $8,8 \cdot 10^{-4}$  за жизнь (или  $1,6 \cdot 10^{-6}$  -  $1,25 \cdot 10^{-5}$  в год) и превышают рекомендованный Роспотребнадзором уровень приемлемого риска ( $1 \cdot 10^{-6}$  -  $1 \cdot 10^{-4}$  за жизнь). Минимальные превышения характерны для гг. Минусинска, Лесосибирска и Канска - от 1,1 до 1,2 раз. Для остальных городов — Назарово, Норильск, Ачинск, Дивногорск, Красноярск, — превышение составляет от 3,2 до 8,8 раз. Различия между городами в уровнях риска связаны как с величинами среднегодовых концентраций загрязняющих веществ, так и с перечнем контролируемых канцерогенов, количество которых на различных территориях варьирует от двух-трех веществ (гг. Минусинск, Лесосибирск, Дивногорск) до 10 веществ (г. Красноярск).

Самому высокому суммарному канцерогенному риску подвергается население Красноярска  $8,8 \cdot 10^{-4}$  за жизнь ( $1,25 \cdot 10^{-5}$  за год). Наибольший вклад (94%) в величину риска вносят 4 канцерогена – бензол, хром шестивалентный, формальдегид и возгоны каменноугольного пека. Популяционный канцерогенный риск, определяющий дополнительное к фону число злокачественных новообразований, для населения краевого центра составляет 12,3 случаев в год при сохранении экспозиции на уровне 2007–2011 гг. Общее число возможных дополнительных случаев развития рака по причине загрязнения воздуха в городах края — 15,2 случаев ежегодно.

Централизованное хозяйственно-питьевое водоснабжение, которым обеспечено около 96% жителей края, примерно в равных пропорциях осуществляется из подземных и поверхностных источников. Высокий уровень загрязнения поверхностных вод создает серьезную проблему по обеспечению населения безопасной питьевой водой. Качество питьевой воды по санитарно-химическим и микробиологическим показателям на территории Красноярского края хуже, чем в среднем по РФ [О санитарно-эпидемиологической, 2012].

Прогнозная оценка развития злокачественных новообразований среди населения показала, что суммарный индивидуальный канцерогенный риск от воздействия химических веществ, контролируемых в питьевой воде, на большинстве административных территорий превышает допустимый уровень  $1 \cdot 10^{-5}$  за жизнь. Наиболее высокие уровни ( $2 \cdot 5 \cdot 10^{-4}$  за жизнь) регистрируются в Уярском, Нижнеингашском, Саянском и Партизанском районах и в г. Ачинске. В зоне допустимого канцерогенного риска (ниже  $1 \cdot 10^{-5}$  за жизнь) находятся 8 территорий края: Мотыгинский, Емельяновский, Козульский, Иланский, Назаровский, Березовский, Эвенкийский районы и г. Красноярск. Максимальные значения популяционного риска отмечаются в г. Ачинске и г. Норильске – 0,8 дополнительных случаев рака за год. Общее число прогнозируемых случаев рака среди населения края от потребления загрязненной питьевой воды составляет 4,1 случая в год.

По результатам контроля, проводимого региональным Управлением Роспотребнадзора, Красноярский край [О санитарно-эпидемиологической, 2012] относится к числу регионов России с неудовлетворительным состоянием почв в селитебной зоне. В крае доля неудовлетворительных

проб почвы по санитарно-химическим показателям в 2-3 раза, а по содержанию тяжелых металлов — в 4-5 раз выше, чем в среднем по стране.

Опасность развития канцерогенных эффектов у населения оценивалась для пяти химических канцерогенов, контролируемых в почве: трех металлов — кадмий, никель, свинец, а также для мышьяка и бенз(а)пирена. Значения индивидуального канцерогенного риска на всех административных территориях края находятся ниже допустимого уровня ( $1 \cdot 10^{-6}$  -  $1 \cdot 10^{-4}$  за жизнь), достигая максимальных значений в Северо-Енисейском районе  $3,0 \cdot 10^{-7}$ , что не требует каких-либо корректирующих действий, направленных на снижение риска.

Оценка многосредового канцерогенного риска, связанного с загрязнением атмосферного воздуха, питьевой воды и почвы, проводилась для 8 городских территорий - гг. Ачинск, Дивногорск, Канск, Красноярск, Лесосибирск, Минусинск, Назарово, Норильск. Значения суммарного канцерогенного пожизненного риска при многосредовом воздействии находятся в диапазоне от  $1,3 \cdot 10^{-4}$  до  $1,0 \cdot 10^{-3}$  ( $1,9 \cdot 10^{-6}$  -  $1,5 \cdot 10^{-5}$  в год), что выше уровня приемлемого риска для населения. Максимальные значения риска характерны для г. Ачинска —  $1,0 \cdot 10^{-3}$  и г. Красноярска —  $8,8 \cdot 10^{-4}$  за жизнь. Они находятся на верхней границе диапазона, приемлемого для профессиональных групп (индивидуальный риск в течение всей жизни  $1 \cdot 10^{-4}$  -  $1 \cdot 10^{-3}$ ), и неприемлемы для населения в целом. Появление таких уровней риска требует разработки и проведения экстренных оздоровительных мероприятий.

В большинстве городов края основной вклад в суммарный многосредовой риск вносит загрязнение атмосферного воздуха. В Красноярске он достигает 100%. Для ряда территорий вклад питьевой воды также существенен, что во многом зависит от полноты перечня контролируемых веществ. Для населения Ачинска и Норильска суммарный канцерогенный риск формируется примерно в равных долях за счет атмосферного воздуха и питьевой воды, а в г. Лесосибирске - на 70% определяется загрязнением питьевой воды.

Более полувека деятельность Горно-химического комбината вместе с глобальными процессами, вызванными ядерными испытаниями, определяла техногенную составляющую радиационной обстановки на берегах реки Енисей ниже г. Железногорска. За счет выбросов и главным образом сбросов за пределами комбината появились участки с повышенными уровнями радиоактивного загрязнения. Наиболее загрязненными, во многом в период работы прямоточных реакторов в первые тридцать лет работы комбината, оказались острова, участки поймы и донные отложения р. Енисей.

Результаты многолетнего радиационного мониторинга зоны наблюдения ГХК [Радиационная, 2013] и специальных исследований, проведенных ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Красноярском крае» по оценке современных доз облучения населения, проживающего в долине р. Енисей [Радиационно-гигиенический, 2012; Радиационная обстановка и дозы, 2012], показали, что техногенное загрязнение, обусловленное выбросами и сбросами комбината, а также глобальными выпадениями добавляет в суммарное облучение населения менее 1%. Абсолютные величины дозы техногенного облучения в 2001-2010 гг. находились на уровне, не превышающем 0,1 мЗв/год, что на порядок величины ниже допустимого предела 1 мЗв/год (НРБ-99/2009). После остановки последнего реактора в 2010 г. за счет значительного сокращения выбросов и сбросов радиоактивных веществ (в первую очередь  $^{32}\text{P}$ ) произошло уменьшение дозовой нагрузки, связанной с деятельностью комбината, в 2-3 раза. В результате к 2011 году доза облучения населения, формируемая за счет современной и прошлой деятельности комбината, стала существенно ниже уровней облучения от глобального радиационного фона. В перспективе следует ожидать дальнейшего снижения дозы техногенного облучения, благодаря постоянно идущим процессам естественного распада радионуклидов и захоронения загрязненных донных и пойменных отложений под чистыми наносами.

Риск развития онкозаболеваний от техногенного облучения оценивался в соответствии с рекомендациями МКРЗ [ICRP, 2007] и НРБ-99/2009. Расчет радиационных рисков от облучения, связанного с деятельностью комбината, осуществлялся для трех групп населения, испытывающих дозовую нагрузку разного уровня:

- городского населения (г. Железнодорожск, 85 тыс. чел.), проживающего в зоне влияния газоаэрозольных выбросов комбината;
- сельского населения, проживающего на берегах р. Енисей (до 20 тыс. чел.);
- критической группы населения (до 1 тыс. чел.), чей рацион сильно смещен в сторону потребления местной рыбы и дикорастущих продуктов.

Средние величины дозовых нагрузок в период 2001-2010 гг., обусловленные деятельностью ГХК и отражающие существующий уровень облучения, для различных категорий населения и оценки риска развития онкозаболеваний приведены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 - Риск развития онкозаболеваний среди населения зоны наблюдения ГХК от годовой дозы техногенного облучения в период 2001-2010 гг. [Арутюнян и др., 2014]

Группа населения	Диапазон усредненных за 10-летний период дозовых нагрузок, обусловленных техногенными радионуклидами, мкЗв/год	Риск развития рака
Городское	1-3	$5,5 \cdot 10^{-8} - 1,6 \cdot 10^{-7}$
Сельское	2-20	$1,1 \cdot 10^{-7} - 1,1 \cdot 10^{-6}$
Критическая группа	10-60	$5,5 \cdot 10^{-7} - 3,3 \cdot 10^{-6}$

Полученные значения радиационного риска лежат в области приемлемых значений и в 10–1000 раз ниже считающегося допустимым и в России (НРБ-99/2009), и в мире (МКРЗ, публикация 103, 2007 г.) предела ( $5 \cdot 10^{-5}$  от годовой дозы облучения). Общее количество дополнительных случаев развития рака среди населения зоны наблюдения ГХК составило менее 0,04 случая в год. Для современных условий облучения в 2011-2013 гг. риски развития рака в 2-3 раза ниже.

Проведенные исследования показали ограниченное влияние радиационного фактора, связанного с работой ГХК, на здоровье населения Красноярского края по сравнению с химическими факторами окружающей среды. Индивидуальные и популяционные риски возникновения онкологических заболеваний по причине загрязнения воздуха химическими канцерогенами и риски смерти от воздействия «классических» загрязняющих веществ находятся на уровне, превышающем приемлемый, и оказываются в 100–100000 раз выше радиационных рисков, связанных с деятельностью ГХК. Вполне очевидно, что химическое загрязнение окружающей среды является одним из значимых факторов, определяющих здоровье населения края (таблица 4.9). При этом ведущим экологическим фактором риска является загрязнение воздуха «классическими» веществами, поступающими от промышленных предприятий и автотранспорта.

Результаты проведенного исследования позволяют сформировать адекватное отношение к различным рискам и, в частности, к радиационным рискам. Они могут быть использованы для разработки эффективной природоохранной политики в Красноярском крае. Недооценка рисков, связанных с другими технологиями и факторами окружающей среды, способна привести к ошибочной расстановке приоритетов при формировании региональных экологических программ и выработке стратегии дальнейшего экономического развития региона.

Таблица 4.9 - Оценка вреда здоровью населения Красноярского края

Причины смерти/онкозаболеваний	Подвержено, тыс. чел.	Дополнительных случаев смерти в год
Красноярский край		
Загрязнение атмосферного воздуха в восьми городах края «классическими» веществами химическими канцерогенами	1559,1	2007* 15,2**
Загрязнение питьевой воды химическими канцерогенами	2846,5	4,1**
Красноярск		
Загрязнение атмосферного воздуха «классическими» веществами химическими канцерогенами	997,3	1093* 12,4**
Проживание в зоне наблюдения ГХК	105	0,04**

Примечание: \* - случаев смерти, \*\* - случаев онкозаболеваний.

### Выводы и практические рекомендации

1. Система управления радиоэкологической безопасностью (РЭБ) является составной частью обеспечения экологической безопасности. В качестве основных инструментов управления РЭБ на предприятии можно отметить:
  - ведение региональной базы радиоэкологических данных; определение трендов и тенденций в величинах базовых радиационных параметров, характеризующих степень загрязнения окружающей среды;
  - разработка расчетной модели радиационного воздействия предприятия с реконструкцией прошлых загрязнений и прогнозом на необходимый период времени;
  - сравнительный анализ радиационных и химических рисков для населения;
  - оценка рисков для местной биоты.
2. В настоящее время при оценке рисков широко используется многоуровневый метод, при котором сначала получают экспресс оценки рисков, позволяющие определить необходимость и целесообразность дальнейших исследований и получения результатов с меньшей неопределенностью.
3. Для оценки риска на население от радиационного и химического факторов воздействия в РФ разработаны критерии воздействия, инструментарий для расчета численных величин, утверждены соответствующие методики. Необходимо юридически закрепить понятия и численные значения для социально приемлемого и социально неприемлемого риска.
4. В РФ, как и в ряде других стран, реализован экспресс метод оценки дозовых нагрузок на референтные виды биоты в соответствии с методологией и рекомендациями, изложенные в 108, 114 и 124 Публикациях МКРЗ.

### Список использованных источников

- 1 Bradshaw C., Kapustka L., Barnhouse L. et al. Using an ecosystem approach to complement protection schemes based on organism-level endpoints // J. Environ. Radioact. 2014. V. 136. P. 98–104.
- 2 Brechignac F., Bradshaw C., Carroll S. et al. Towards an ecosystem approach for environmental protection with emphasis on radiological hazards. International Union of Radioecology, 2012. 82 p.
- 3 Chambers D.B., Osborne R.V., Garva A.L. Choosing an alpha radiation weighting factor for doses to non-human biota // J. Environ. Radioact, 2006. – V. 87(1). – P. 1-14.
- 4 Charlton S.R. & Parkhurst D.L. Modules based on the geochemical model PHREEQC for use in scripting and programming languages. Computers & Geosciences, 2011, 37(10), 1653-1663.

- 5 CNSC. Protection of non human biota from ionizing radiation. Advisory Committee on Radiation Protection of the Canadian Nuclear Safety Commission, INFO 0730, 2002, Ottawa, ON.
- 6 Copplestone D., Beresford N., Howard B. Protection of the environment from ionising radiation: developing criteria and evaluating approaches for use in regulation // *J. Radiol. Prot.* 2010. V. 30. P. 191–194.
- 7 Copplestone D., Bielby S., Jones S.R., et al. Impact assessment of ionising radiation on wildlife. R&D Publication 128. Bristol: United Kingdom Environment Agency, 2001.
- 8 Copplestone D., Hingston J., Real A. The development and purpose of the FREDERICA radiation effects database // *J. Environ. Radioact.* 2008. V. 99. P. 1456–1463.
- 9 DOE Standard. A graded approach for evaluation radiation doses to aquatic and terrestrial biota. DOE-STD-1153-2002. – Washington: US Department of Energy, 2002.
- 10 EC, 2003. Technical Guidance Document in Support of Commission Directive 93/67/EEC on Risk assessment for new notified substances and commission regulation (EC) No 1488/94 on Risk assessment for existing substances/ Luxemburg: Office for official publication of the European Commission, 2003.
- 11 Fesenko S.V., Alexakhin R.M., Geras'kin S.A. et al. Comparative radiation impact on biota and man in the area affected by the accident at the Chernobyl nuclear power plant. // *J. Environ. Radioact.* 2005. – Vol. 80. – P. 1 - 25.
- 12 Garnier-Laplace J., Copplestone D., Gilbin R. et al. Issues and practices in the use of effects data from FREDERICA in the ERICA integrated approach // *J. Environ. Radioact.* 2008. V. 99. P. 1474–1483.
- 13 Garnier-Laplace J., Della-Vedova C., Andersson P. et al. A multi-criteria weight of evidence approach for deriving ecological benchmarks for radioactive substances // *J. Radiol. Prot.* 2010. V. 30. P. 215–233.
- 14 Garnier-Laplace J., Della-Vedova C., Gilbin R. et al. First derivation of predicted-no-effect values for freshwater and terrestrial ecosystems exposed to radioactive substances // *Environ. Sci. Technology.* 2006. V. 40. P. 6498–6505.
- 15 Garnier-Laplace J., Geras'kin S., Della-Vedova C. et al. Are radiosensitivity data derived from natural field conditions consistent with data from controlled exposure? A case study of Chernobyl wildlife chronically exposed to low dose rates // *J. Environ. Radioact.* 2013. V. 121. P. 12-21.
- 16 Geras'kin S.A., Fesenko S.V., Alexakhin R.M. Effects of non-human species irradiation after the Chernobyl NPP accident // *Environ. Intern.* 2008. V. 80. P. 59–74.
- 17 Health and Environment in Europe: Progress Assessment. 2010, 143 p.
- 18 Howard B.J., Beresford N.A., Andersson P. et al. Protection of the environment from ionising radiation in a regulatory context – an overview of the PROTECT coordinated action project // *J. Radiol. Prot.* 2010 V. 30 (2). P. 195–214.
- 19 Howard B.J., Beresford N.A., Copplestone D. et al. The IAEA handbook on radionuclide transfer to wildlife // *J. Environ. Radioact.* 2013. –V. 121. – P. 55 - 74.
- 20 Howard B.J., Larsson C.-M. The ERICA Integrated Approach and its contribution to protection of the environment from ionising radiation // *J. Environ. Radioact.* 2008. V. 99. P. 1361–1363.
- 21 IAEA, 1992. Effects of Ionizing Radiation on Plants and Animals at Levels Implied by Current Radiation Protection Standards. Technical Reports Series No. 332. IAEA, Vienna, Austria. 1992.
- 22 ICRP, 1977. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 26, Ann. ICRP 1 (3).
- 23 ICRP, 1991. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60, Ann. ICRP 21 (1-3). 1991.
- 24 ICRP, 2003. A Framework for Assessing the Impact of Ionising Radiation on Non-human Species. ICRP Publication 91. Ann. ICRP 33 (3).
- 25 ICRP, 2007. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (Users Edition). ICRP Publication 103 (Users Edition). Ann. ICRP 37 (2-4).

- 26 ICRP, 2008. Environmental Protection - the Concept and Use of Reference Animals and Plants. ICRP Publication 108. Ann. ICRP 38 (4-6).
- 27 ICRP, 2009. Environmental Protection: Transfer Parameters for Reference Animals and Plants. ICRP Publication 114, Ann. ICRP 39(6).
- 28 ICRP, 2014a. Protection of the Environment under Different Exposure Situations. ICRP Publication 124. Ann. ICRP 43(1).
- 29 ICRP, 2014b. Radiological Protection against Radon Exposure. ICRP Publication 126. Ann. ICRP 43(3).
- 30 Lance E., Alonzo F., Garcia-Sanchez L., Beaugelin-Seiller K., Garnier-Laplace J. Modelling population-level consequences of chronic external gamma irradiation in aquatic invertebrates under laboratory conditions // *Sci. Tot. Environ*, 2012. – V. 429.– P. 206 - 214.
- 31 Larsson C.-M. The FASSET Framework for assessment of environmental impact of ionizing radiation in European ecosystems – an overview // *J. Radiol. Prot.* 2004. V 24. P. A1–A12.
- 32 Muller F., Hoffmann-Kroll R., Wiggering H. Indicating ecosystem integrity. Theoretical concepts and environmental requirements // *Ecological Modelling*. 2000. V. 130. P. 13-23.
- 33 Pentreath R.J. Radiation protection of people and the environment: developing a common approach // *J. Radiol. Prot.* 2002. V. 2. P. 45–56.
- 34 Sazykina T.G., Strand P.X. and Brown J.E. Representative species of marine biota in the Arctic for radioecological assessment and monitoring. Proceedings from «The 5th International Conference on Environmental Radioactivity in the Arctic and Antarctic» (St.Petersburg, Russia, 16-20 June 2002). Printed by Norwegian Radiation Protection Authority, 2002. – P. 109 – 112.
- 35 SRA. Strategic Research Agenda / T.G. Hinton, J. Garnier-Laplace, H. Vandenhove et al. 2012.
- 36 The ERICA project. Special Issue // *J. Environ. Radioact.* 2008. V. 99. P. 1361–1518.
- 37 Ulanovsky A., Prohl G., Gomez-Ros J.M. Methods for calculating dose conversion coefficients for assessing radiation exposures of terrestrial and aquatic biota // *J. Environ. Radioact.* 2008. V. 99. P. 1440–1448.
- 38 UNSCEAR, 1996. Effects of ionizing radiation on the environment. Annex to Sources and effects of ionizing radiation. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly. – New York: United Nations, 1996. 86 p.
- 39 US DOE. A graded approach for evaluating radiation doses to aquatic and terrestrial biota. DOE-STD-1153-2002. – Washington DC, 2002. – P. 234.
- 40 US EPA. Guidelines for Carcinogen Risk Assessment 2005. guidelines and 2005 supplementary guidance, Federal Register 70 (66) 17765-17817, 7 April 2005.
- 41 Vives i Batlle J., Sazykina T.G., Kryshev A. et al. Inter-comparison of population models for the calculation of radiation dose effects on wildlife // *Radiat. Environ. Biophysics*. 2012. V. 51(4). P. 399 - 410.
- 42 WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide - Global update 2005 - Summary of risk assessment/ WHO/SDE/PHE/OEH/06.02// World Health Organization 2006.
- 43 Абалкина И.Л., Барчуков В.Г., Бочкарев В.В., Ведерникова М.В., Дорогов В.И., Кочетков О.А., Крышев И.И., Линге И.И., Панченко С.В. Савкин М.Н., Уткин С.С. под общей ред. Линге И.И. Научно-техническое пособие по подготовке обосновывающих материалов для принятия решения об отнесении радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам. Версия 2.0, ИБРАЭ РАН, 2014, 157 с.
- 44 Агапов А.М., Грачев В.А. Экологическая политика Госкорпорации «Росатом». М., 2011.
- 45 Алексахин Р.М., Архипов Н.П., Бархударов Р.М. и др. Тяжелые естественные радионуклиды в биосфере. – М.: Наука, 1990. – 368 с.
- 46 Алексахин Р.М., Удалова А.А., Гераськин С.А. Учение о биосфере В.И. Вернадского и современные проблемы радиоэкологии // *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2014. – Т. 54. – № 4. – С. 432 - 439.

- 47 Алексахин Р.М., Фесенко С.В. Радиационная защита окружающей среды: антропоцентрический и экоцентрический принципы // Радиационная биология. Радиозэкология. 2004. Т. 44. № 1. С. 93–103.
- 48 Арутюнян Р.В., Воробьева Л.М., Панченко С.В., Бакин Р.И., Новиков С.М., Шашина Т.А., Додина Н.С., Горяев Д.В., Тихонова И.В., Куркатов С.В., Скударнов С.Е., Иванова О.Ю. Сопоставительный анализ радиационных и химических рисков для здоровья населения Красноярского края. Радиация и Риск. Том 23 № 2, 2014. М.: -Обнинск, сс. 123-136.
- 49 Арутюнян Р.В., Воробьева Л.М., Панченко С.В., Печкурова К.А., Новиков С.М., Шашина Т.А., Додина Н.С., Горяев Д.В., Тихонова И.В., Куркатов С.В., Скударнов С.Е., Иванова О.Ю. Оценка экологической безопасности Красноярского края на основе анализа риса для здоровья населения. Атомная энергия. Том 118 № 2, февраль 2015. М.: сс. 113-118.
- 50 Бауэр Э.С. Теоретическая биология. М.: Изд. ВИЭМ, 1935.
- 51 Бия Е.А., Казаков С.В., Линге И.И. Разработка экологических подходов к нормированию радиационного воздействия на водные экосистемы / В кн.: Труды ИБРАЭ. Вопросы радиозэкологии / ред. И.И. Линге. – М.: Наука, 2009. – С. 356–393.
- 52 Болдырев К.А., Савельева Е.А., Капырин И.В., Расторгуев А.В. Расчет параметров сорбции металлов на примере стронция при высоких концентрациях нитрата натрия // Водоснабжение и санитарная техника – 2015. – №. 5. – С. 8-12.
- 53 Быков А.А., Соленова Л.Г., Земляная Г.М., Фурман В.Д. Методические рекомендации по анализу и управлению риском воздействия на здоровье населения вредных факторов окружающей среды – М.: Издательство «АНКИЛ», 1999. – 72 с.
- 54 Воробейчик Е.Л., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем. Екатеринбург, УИФ «Наука», 1994. – 282 с.
- 55 Казаков С.В., Линге И.И. О гигиеническом и экологическом подходах в радиационной защите // Радиационная биология. Радиозэкология. 2004. Т. 44. № 4. С. 482–492.
- 56 Казаков С.В., Уткин С.С. Подходы и принципы радиационной защиты водных объектов. Под ред. И.И. Линге. – М.: Наука, 2008. – 318 с.
- 57 Конференция ООН по проблемам окружающей человека среды (Стокгольмская конференция) 5-16 июня 1972 года, Стокгольм, 1972.
- 58 Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры. //Р.М. Алексахин, Л.А. Булдаков, В.А. Губанов и др. Под общей редакцией Л.А. Ильина и В.А. Губанова. – М.: ИздАТ, 2001. – 752 с.
- 59 Крышев И.И., Рязанцев Е.П. Экологическая безопасность ядерно-энергетического комплекса России. Второе издание, переработанное и дополненное. – М.: Издат, 2010. – 495 с.
- 60 Крышев И.И., Рязанцев Е.П. Экологическая безопасность ядерно-энергетического комплекса. М.: ИздАТ, 2000, 384 с.
- 61 Лунева К.В. Оценка радиационно-экологического воздействия радиохимических комбинатов на референтные объекты животного мира. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 03.01.01-радиобиология. Обнинск, 2014. – 24 с.
- 62 Методические рекомендации "Критерии оценки риска для здоровья населения приоритетных химических веществ, загрязняющих окружающую среду", 2003, МосМР 2.1.9.004-03.
- 63 МКРЗ, Публикация 118. Отчет МКРЗ по тканевым реакциям, ранним и отдаленным эффектам в нормальных тканях и органах — пороговые дозы для тканевых реакций в контексте радиационной защиты. Челябинск, 2012, 385 с.
- 64 НРБ 2009. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. - 100 с.
- 65 О санитарно-эпидемиологической обстановке в Красноярском крае в 2011 году: Государственный доклад. - Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты



- прав потребителей и благополучия человека по Красноярскому краю, Красноярск, 2012.-243 с.
- 66 Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2012 г. М.: Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2013. 178 с.
- 67 Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2011 г. – М.: Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2012 – 256 с.
- 68 Онищенко Г.Г., Новиков С.М., Рахманин Ю.А., Авалиани С.Л., Буштуева К.А. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду./ Под ред. Рахманина Ю.А., Онищенко Г.Г. – М.: НИИ ЭЧ и ГОС, 2002. — 408 с.
- 69 Радиационная обстановка и дозы облучения населения Красноярского края в 2011 г.: Справочник/ Атурова В.П., Куркатов С.В., Панкратов Л.В., Скударнов С.Е., Ревяко Ю.С., Иванова И.В., Апасов М.Ю., Гаталюк Д.С.; Научный редактор: доктор медицинских наук С.В. Куркатов. – Красноярск: Полиграфический центр библиотечно-издательского комплекса СФУ, 2012. – 177 с.
- 70 Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2012 году. – Обнинск: Росгидромет, 2013. – 344 с.
- 71 Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2014 году: Ежегодник / ФГБУ «НПО Тайфун» - Обнинск: Росгидромет, 2015. – 350 с.
- 72 Радиационно-гигиенический паспорт Красноярского края за 2010 год - ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Красноярском крае», Красноярск, 2012. – 12 с.
- 73 Рахманин Ю.А., Новиков С.М., Шашина Т.А., Скворцова Н.С. Окружающая среда: учет и контроль факторов риска здоровью населения. — Методы оценки соответствия, 2009, № 11, сс.8-10.
- 74 Романов Г.Н., Спиринов Д.А. Воздействие ионизирующих излучений на живую природу при уровнях, предусмотренных современными нормами радиационной безопасности // Докл. АН СССР, 1991. – Т. 318. – С. 248-251.
- 75 Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. Р 2.1.10.1920-04. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 143 с.
- 76 Румынин В.Г. Геомиграционные модели в гидрогеологии. СПб.: Наука. – 2011. – 1158 с.
- 77 Сарапульцев Б.И., Гераськин С.А. Генетические основы радиорезистентности и эволюция. – М.: Энергоатомиздат, 1993. 208 с.
- 78 Спиринов Е.В., Алексахин Р.М. Панченко С.В. Оценка радиэкологической безопасности уранового месторождения для биоты // Атомная энергия, 2013. – Т. 115. – Вып. 5. – С. 279 - 284.
- 79 Тимофеева-Ресовская Е.А., Агафонов Б.М., Тимофеев-Ресовский Н.В. О почвенно-биологической дезактивации воды. Сборник работ лаборатории биофизики. III, Вып. 13. Труды института биологии АН СССР, 1960, Свердловск, с. 35-48.
- 80 Федеральный закон от 10.02.2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды».
- 81 Филюшкин И.В., Петоян И.М. Теория канцерогенного риска воздействия ионизирующего излучения. М.: ЭнергоАтомиздат. 1988. – 160 с.
- 82 Шестаков В.М. Гидрогеодинамика. – М.:КДУ, 2009 - 334 с.
- 83 Ярмоненко С.П., Вайнсон А.А. Радиобиология человека и животных. Учебное пособие. Под ред. С.П. Ярмоненко. — М.: Высшая школа, 2004, 549 с.

## **Глава 5 Практические рекомендации по экологическому менеджменту в организации**

Итоги более чем 60-летних радиоэкологических исследований вокруг объектов ядерного топливного цикла, предприятий атомной промышленности, ядерных полигонов убедительно показывают, что при соблюдении радиационно-гигиенических стандартов радиационная защита природы надежно обеспечена. Радиационное повреждение биоты наблюдалось в очень ограниченном объеме при крупных радиационных авариях или при ядерных испытаниях. Количество представителей живой флоры и фауны пострадавших в результате научных экспериментов, направленных на изучение механизмов воздействия и с целью установления пределов такого воздействия, многократно превышает число особей, погибших в результате прямого использования атомной энергии. Тем не менее, необходимость дальнейших исследований эффектов радиационного воздействия на объекты живой природы не подвергается сомнению всеми авторитетными учеными. Мы живем в мире излучений, от многих из них нас защищает воздушная оболочка Земли, но создавая новые источники радиационного воздействия, безусловно, необходимо готовиться к осознанной организации безопасного существования человека и других видов.

В XXI век человечество вступило на путь формирования нового мировоззрения в отношении окружающей среды и места человека в ней. Исторической вехой в осознании нарастающего планетарного кризиса стала концепция экологически устойчивого развития, сформулированная Международной комиссией по окружающей среде и развитию (МКОСР) [Брундтланд, 1987]. На смену антропоцентрической концепции выдвигаются биоцентрический и экоцентрический принципы обеспечения безопасности, а правильное сказать дальнейшей благополучной жизни человека. Образы техногенной планеты, созданные фантастами, стали глубоко проникать в общественное сознание. Современный человек всё полнее стал понимать нежелательность такого будущего для себя и своих потомков и начал искать новые способы предотвращения развития техногенного сценария. В отношении загрязнения окружающей среды вредными химическими веществами и техногенной деятельности в целом некорректность антропоцентрического подхода для многих специалистов стала уже очевидной. Уровни дополнительного техногенного радиационного воздействия сегодня в большинстве случаев крайне малы, чтобы вызывать серьезное беспокойство у специалистов, но это не снимает ответственности за соблюдение все более жестких требований к охране всей нашей биосферы. Необходимость системных комплексных подходов к оценке тенденций в эволюции окружающей среды, в изучении тонких механизмов регуляции жизненных процессов на различных уровнях организации живой материи, начиная с генома и до биосферы в целом, инициировала бурное развитие экологического менеджмента.

### **5.1 Управление охраной окружающей среды**

Стремление к наиболее полному удовлетворению потребностей общества приводит к увеличению масштабов производства, а, следовательно, и уровня техногенной опасности, поэтому современное общество все чаще сталкивается с проблемой обеспечения безопасности, как человека, так и окружающей среды от воздействия экологически вредных факторов. В сущности, человечество до сих пор так и не выработало надежных механизмов устойчивого, экологически приемлемого развития цивилизации. Желания и стремления по удовлетворению своих жизненных потребностей человек не всегда правильно соотносит с возникающими в результате этой деятельности экологическими проблемами, следствием чего, в ряде случаев, может быть неустойчивость и даже необратимая деградация экосистем. Стремительное изменение окружающей среды на пути от биосферы к ноосфере требует повышения экологической ответственности человечества. В связи с этим, возрастает интерес к проблемам экологической

безопасности, к разработке методов оценки антропогенных воздействий на экологические системы, оценки рисков и экономических потерь, создаваемых такими воздействиями и поиску путей управления, обеспечивающих их снижение. Экологические, социальные и экономические потрясения, вызываемые крупными промышленными авариями, особенно опасными на радиационно и химически опасных объектах, ставят перед обществом задачу обеспечения приемлемых величин экологических рисков.

В ни меньшей степени проблемы глобального загрязнения волнуют общество при быстро растущем использовании природных ресурсов и включением потенциально опасных веществ в многочисленные биологические круговороты, в которые вовлечен и сам человек. Если аварийные ситуации приводят, как правило, к локальным ущербам, то нормальное производство и использование ресурсов создает определенный «экологический» гнёт на большую часть биосферы, включая и человечество.

Методические подходы к оценке экологических рисков (ОЭР) востребованы обществом и активно развиваются уже не одно десятилетие. Сегодня почти повсеместно признается, что ОЭР, как комплексная, научно обоснованная методология оценки последствий хозяйственной деятельности, характеризующихся высокой степенью неопределенности и значительным потенциалом опасности для окружающей среды и здоровья населения, является неотъемлемой частью системы экологической оценки. Многие исследователи рекомендуют широкое применение подходов ОЭР в рамках оценки экологического проектирования, с тем, чтобы получать более достоверные и адекватные выводы о последствиях для здоровья человека и экосистем, связанных с ухудшением качества окружающей среды [Canter, 1983; Andrews, 1990; Arquiga et al., 1994; Nagels, 1997; WHO, 2000]. Однако, единой целостной научно-обоснованной системы для оценки экологического риска как вероятности возникновения отклика (эффекта или ущерба) на то или иное воздействие, в том числе радиационного фактора, до сих пор нет. В первую очередь, это связано со сложностью идентификации отклика биологического объекта или биологической системы. Определенным тормозом является и продолжающаяся дискуссия по вопросам экологического нормирования. Вместе с тем, система оценки экологического риска должна использоваться при управлении состоянием окружающей среды и позволять оценивать последствия воздействия различных факторов на человека и экосистемы. Как наивысшая цель, адекватная оценка антропогенного (и природного) риска должна обеспечивать управленческую стратегию устойчивого развития.

В соответствии с Федеральным законом РФ об охране окружающей среды, рекомендациями МКРЗ и МАГАТЭ при планировании, строительстве, эксплуатации и снятии с эксплуатации радиационно-опасных объектов должны быть обеспечены условия сохранения благоприятной окружающей среды, достаточные для устойчивого функционирования естественных экологических систем, природных и природно-антропогенных объектов, а также сохранения биологического разнообразия. Радиологическая безопасность биологических видов, отличных от человека, должна подтверждаться в результате оценок дозовых нагрузок на репрезентативные организмы, независимо от оценок радиологической безопасности персонала и населения [Федеральный, 2011; Крышев и Сазыкина, 2013; IAEA, 2014; ICRP, 2003; ICRP 2007; ICRP 2009].

### **5.1.1 Руководство по оценке риска в области экологического менеджмента**

30 декабря 2005 г. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии утвержден и введен в действие национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 14.09-2005 — Руководство по оценке риска в области экологического менеджмента. Настоящий стандарт устанавливает руководство по оценке экологических рисков для природоохранных зон (природных парков, заповедников) и зон, представляющих особую значимость с точки зрения их использования в качестве экологически важных объектов для реабилитации людей в зонах отдыха, на туристических базах. Данный ГОСТ не распространяется на людей, домашних животных и на многие экологические объекты, компоненты и ситуации, встречающиеся в повседневной жизни. Однако этот стандарт может быть использован в качестве основы для разработки методов,

учитывающих специфические особенности конкретных экологических объектов и ситуаций, поскольку в нем отражены все основные моменты оценки экологического риска. Именно поэтому данный ГОСТ может служить практическим руководством для оценки экологических рисков. Здесь мы кратко остановимся на основных моментах этого объемного документа.

В стандарте под оценкой экологического риска подразумевается качественная и/или количественная оценка реальных или потенциальных воздействий загрязняющих веществ на растения и диких животных. Допустимый риск достигается с помощью итеративного процесса общей оценки и уменьшения риска (рисунок 5.1).

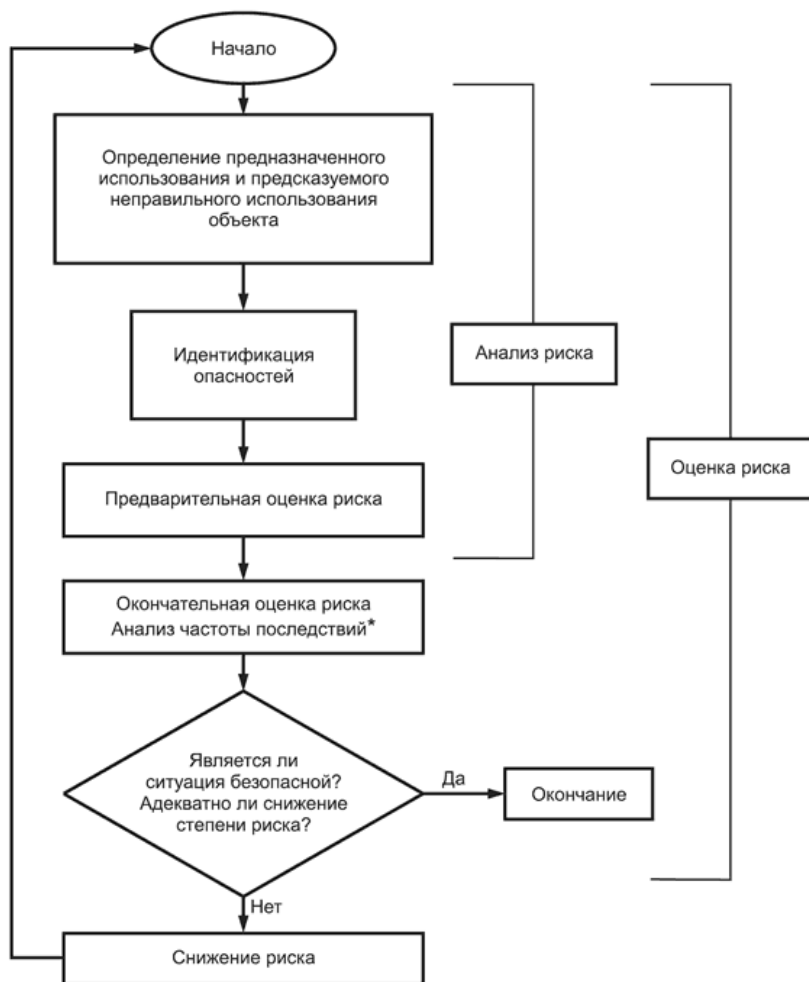


Рисунок 5.1 – Итеративный процесс общей оценки и уменьшения риска [ГОСТ, 2005]

Т.е. мы видим (как и в главе 4), что сам анализ риска представляет собой многоступенчатый аналитический процесс, состоящий из основных этапов: характеристики риска, анализа риска и его оценки, а также информации населения о риске, восприятия риска, определения приемлемых уровней риска, управления риском и оценки эффективности системы контрмер.

Наибольшего развития система оценки экологических рисков получила за рубежом [Environment Canada, 1997; US EPA, 1992; ЕС, 1996], и в ряде стран воплощена на национальном уровне через процедуры эколого-экономического регулирования. На рисунке 5.2 представлена

схема основных этапов оценки и прогноза последствий загрязнения окружающей среды радионуклидами и токсичными веществами, построенная на основе изучения ряда методик и рекомендаций, применяемых для анализа экологических рисков в разных странах [Jones and Gilek, 2004], которая в несколько измененном виде трансформирована и в рассматриваемый стандарт.

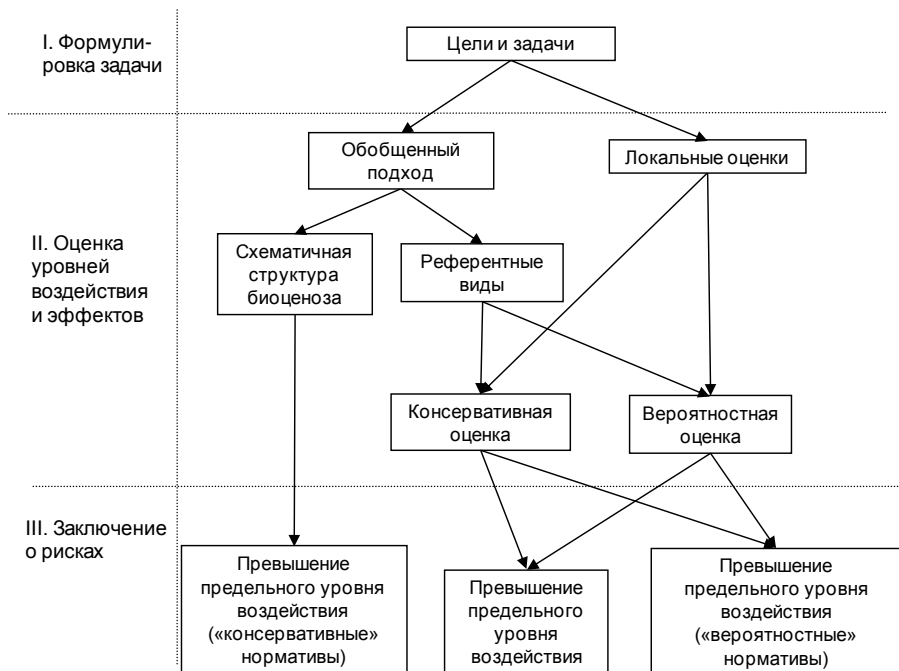


Рисунок 5.2 – Общая схема основных этапов оценки и прогноза последствий загрязнения окружающей среды радионуклидами или токсичными веществами [Jones and Gilek, 2004]

Как правило, оценку негативного воздействия на объекты окружающей среды проводят в три этапа:

- формулировка цели и задач исследования;
- оценка уровней воздействия и биологических эффектов для живой природы;
- характеристика возможного риска, оцениваемая при сопоставлении наблюдаемых или потенциальных (скрытых, отложенных) эффектов с приемлемыми уровнями (нормативами или стандартами).

В общем случае, на первом этапе необходимо определить цели и задачи оценки, то есть ответить на вопросы: что необходимо защищать, от чего и с какой целью. В частности, следует выделить границы загрязненной территории, длительность поступления или действия изучаемого фактора, показатели или индикаторы биологического эффекта, методы их измерения или оценки. Необходимо также заранее определить или установить допустимые уровни воздействия.

В ходе второго этапа, как правило, проводится постановка ряда задач:

1. оценка источника загрязнения, путей поступления радионуклида/токсиканта в биоценоз, пространственно-временного распределения в выбранных или оцененных границах;
2. оценка (прямое измерение или расчет) уровней воздействия на живые организмы; территории или доли организмов в биогеоценозе, которые подвергаются такой экспозиции и для которых она представляется вероятной;

3. анализ биологических эффектов, включающий поиск количественных закономерностей, связывающих получаемую дозу с распространенностью или степенью проявления того или иного неблагоприятного эффекта; дозовая зависимость используется для идентификации экологических нагрузок, которые приводят к определенному уровню повреждения (например, ЛД<sub>10</sub>, ЛД<sub>50</sub>).

На заключительном этапе оценивается степень и/или вероятность негативных эффектов в окружающей среде, вызванных воздействием оцененных доз радионуклидов либо концентраций токсических веществ, анализируются неопределенности, оцениваются риски и обобщается вся полученная информация. Выходные данные при этом должны быть сформулированы таким образом, чтобы природоохранные организации или регулирующие органы могли ими воспользоваться для принятия управленческих решений.

Процесс оценки экологического риска согласно ГОСТ Р 14.09-2005 схематически показан на рисунке 5.3.

Первоначальную оценку риска следует производить на стадии 1 путем сравнения максимального значения воздействия концентраций со значениями экотоксичности на скрининговом уровне. На стадии 2 необходимо решить, применима ли оценка риска на скрининговом уровне, для того, чтобы установить, что экологическая угроза будет незначительной или должна быть проведена более детальная оценка экологического риска (стадии 3-7). При проведении детальной оценки экологического риска используют оценку на уровне экранирования для идентификации путей воздействия изначально принимаемых во внимание загрязнений с целью проведения базовой оценки риска путем устранения тех загрязнений и путей воздействия, для которых риск оценивается как незначительный (пренебрежимо малый).

На стадии 2 в момент принятия решения определяют следующее:

- является экологическая угроза незначительной или
- оценивание экологического риска должно продолжаться для определения наличия риска или его отсутствия, или
- существует потенциальная возможность негативного проявления экологического воздействия и необходимо провести более детальную оценку риска, включающую в себя более детальную информацию об участке.

На стадии 1 необходимо оценивать только завершённые воздействия. При этом для оценки воздействия должны быть использованы только наивысшие измеренные или оценочные значения концентрации загрязнений участка для каждого типа окружающей среды, в отношении всех остальных параметров принимаются наиболее консервативные значения, что обеспечивает отсутствие неучтенных потенциальных экологических угроз.

На этом этапе определяют численные значения относительной опасности (ОО) от отдельных факторов воздействия и индекс опасности (ИО), после чего группа по оценке риска и риск-менеджер должны установить:

- достаточность выполненных оценок для принятия решения о том, что риск является незначительным, и нет необходимости прибегать к профилактическим мерам на основе экологического риска;
- адекватная информация для принятия решения отсутствует, и определение уровня экологического риска должно быть продолжено на стадии 3;
- информация свидетельствует о том, что существует потенциальная возможность неблагоприятного экологического воздействия и необходимо провести более тщательную оценку по стадиям 3-7, где воздействующие концентрации будут определены с помощью другой информации.

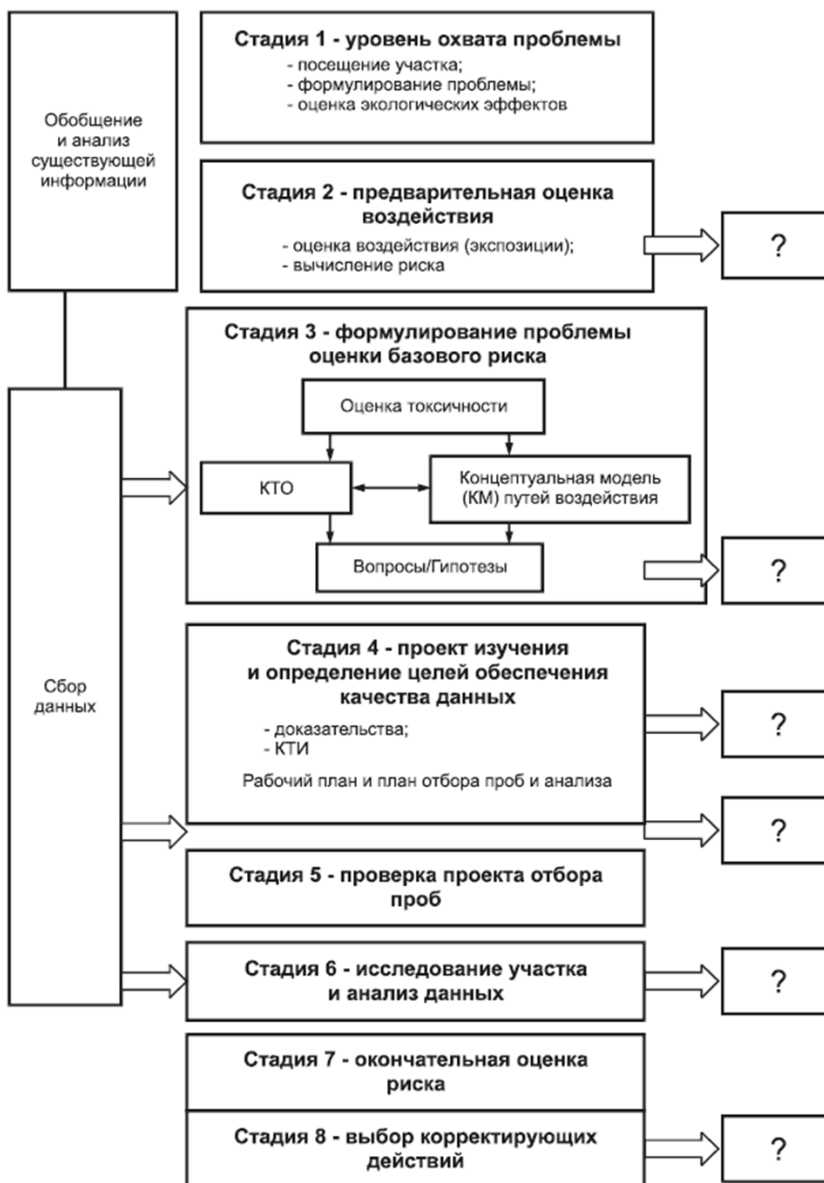


Рисунок 5.3 – Процесс оценки экологического риска согласно ГОСТ Р 14.09-2005

Стадия 3 является началом процесса оценки базового экологического риска. На этой стадии рассматривают экологические проблемы, вызывающие наибольшее беспокойство на данном участке. Если на скрининговом уровне использовались предположения без учета информации, характерной для конкретного участка, то на стадии 3 используют результаты предварительной проверки и дополнительную конкретную информацию об участке для определения области и целей оценки базового экологического риска. Оценка на стадиях 3-7 необходима только для объектов, по которым предварительная оценка выявила необходимость проведения дополнительной оценки экологического риска.

Стадия 3 завершается согласованием конечных точек оценки (КТО), способов воздействия, особенностей риска и концептуальной модели, которая объединяет все вышперечисленное. Результаты стадии 3 используют для определения конечных точек измерений (КТИ) и разработки рабочего плана по оценке экологического риска, а также планов выборки и анализа для объекта на стадии 4. Стадии 3 и 4 фактически являются процессом обеспечения качества данных для проведения оценки базового экологического риска.

Конечной точкой оценки является точное описание объекта окружающей среды, которому должна быть обеспечена защита. При оценке уровня риска для здоровья человека, как правило, определяют только один вид опасности. Например, наиболее типичным случаем КТО является заболевание раком. Оценка экологического риска предусматривает оценку многих видов опасных воздействий, которым подвергаются объекты, по-разному реагирующие на одно и тоже загрязнение.

Практически невозможно провести непосредственную оценку рисков, которым подвергаются отдельные составляющие экосистемы на объекте. Поэтому КТО должны быть ориентированы на оценку риска некоторых из составляющих экосистемы объекта, на которую загрязнения могут оказать негативное воздействие. Мы уже упоминали, что МКРЗ рекомендует ориентироваться на данной стадии анализа несколькими референтными видами (заметим, дополнительно к оценке воздействия на человека).

Отдельные КТО, как правило, распространяются на группу видов или популяции, имеющие такие общие характеристики, как характер конкретного воздействия или восприимчивость к загрязнениям. Иногда действие отдельных КТО ограничивается одним видом (то есть видом, особенно восприимчивым к загрязнению на объекте). Действие КТО может также распространяться на типовую структуру и функции биологических сообществ или экосистем, характерных для объекта.

Концептуальная модель участка устанавливает способы воздействия, которые оценивают в процессе оценки экологического риска, а также связь между КТИ и КТО. Выбор КТИ, завершающих концептуальную модель, проводят на стадии 4. На этой же стадии планируют проведение конкретных исследований на испытуемом объекте.

Концептуальную модель разрабатывают на основе информации, полученной на стадиях 1 и 2, данных об имеющихся загрязнениях, схем, способов воздействий и КТО. Концептуальная модель включает в себя схему истории загрязнения и его перемещения, которая определяет маршрут перемещения загрязнений от источников через экосистему к рецепторам с учетом КТО. После этого концептуальную модель используют для разработки плана исследования и обеспечения (сбора) качества данных (далее – ОКД). Являясь частью процесса ОКД, план выборки и анализа (ПВА) устанавливает приемлемые уровни погрешностей для определения количества и качества данных, необходимых для выработки решений в составе менеджмента экологических рисков.

КТИ, как правило, включают в себя меры воздействия (например, по снижению концентраций загрязнений в воде), а также меры, принимаемые для снижения негативных воздействий. Связь между КТИ и КТО должна быть точно указана в рамках концептуальной модели и быть основана на научных доказательствах, что исключительно важно, поскольку КТО и КТИ – различные конечные точки.

Обычно число конечных точек измерений, устанавливаемых для каждой конкретной КТО и сложившейся ситуации, является ограниченным. Выбор наиболее приемлемых КТИ для КТО зависит от нескольких предположений, первостепенным из которых является определение объема доказательств и их смысла, что необходимо для поддержки решений по менеджменту рисков на испытуемом объекте (см. стадию 3).



Данный этап, который включает в себя лабораторные и полевые работы, обоснование их достаточности в контексте концептуальной модели, является наиболее трудоемким и часто наиболее затратным. Детали его проведения в общем виде прописаны в [ГОСТ, 2005].

На 6 стадии проводят анализ всех доказательств наличия существующих и потенциально возможных негативных результатов в КТО, информации о возможных воздействиях загрязнений и реакции организмов на них, а также доказательств того, что загрязнения вызывают или могут вызвать негативные воздействия. На этой стадии анализа КТИ увязывают с КТО с помощью концептуальной модели. Даются объяснения любым экстраполяциям, необходимым для увязки КТИ и КТО, например, между видами и уровнями реакции в лабораторных и полевых условиях. И в результате выполненного анализа, как можно более точно, должна быть установлена связь неблагоприятного воздействия и реакции с учетом доверительных интервалов (в количественной или качественной формах). На испытываемых объектах доказательства потерь (ущерба) являются основными при оценке риска. Поэтому необходимо провести оценку эффективности причинно-следственной связи между загрязнениями объекта и результатами в КТИ и КТО. Доказательство взаимосвязи между градиентом концентрации загрязнения и неблагоприятными воздействиями на объекте является ключевой составляющей при определении потерь. Однако при отсутствии таких данных могут использоваться другие доказательства. Кроме того, выявления взаимосвязи между воздействиями и реакцией на объекте недостаточно для доказательства потерь. Для этого необходимо получить одно или более дополнительных доказательств, а также провести анализ потенциально возможных смешанных факторов.

Окончательная оценка риска является заключительной стадией (этап 7, см. рисунок 5.3) процесса оценки риска и включает в себя два основных этапа: собственно оценку риска и описание риска.

Эксперты по оценке риска должны разработать и согласовать концептуальную модель, используемую для окончательной оценки риска, наряду с предположениями, неопределенностями и интерпретациями данных на стадиях 3-5. Сбалансированность и интерпретация различных видов данных являются важными задачами и требуют профессионального подхода. Значимость доказательств, предоставляемых по результатам различных испытаний, и приоритет одного вида исследования над другим должны быть определены на стадии 4. Такой подход обеспечивает объективную интерпретацию данных.

Описание риска должно предоставить эксперту информацию, необходимую для оценки вероятности и экологической значимости оцененных рисков.

Собственно управление рисками (менеджмент) осуществляется на 8 стадии. Менеджмент риска является процессом, отличным от оценки риска. Оценка риска устанавливает наличие риска, определяет размер и масштабы риска. При менеджменте риска результаты оценки риска обобщают с другими аргументами для принятия и обоснования решений по менеджменту риска.

Менеджмент риска на объекте является обязанностью менеджера по рискам, который должен сбалансировать снижение риска путем очистки от загрязнений с возможными воздействиями самих корректирующих действий. На стадии 7 эксперты по оценке риска должны идентифицировать пороговые уровни воздействий в КТО как предельные значения между уровнями загрязнений, не представляющих экологического риска, и нижними уровнями загрязнения, которые могут продуцировать негативные экологические воздействия. На стадии 8 эксперты по рискам должны оценивать несколько факторов для принятия обоснованного решения о необходимости (или об отсутствии необходимости в этой процедуре) проведения очистки испытываемого объекта в рамках установленного предела неблагоприятных воздействий.

Целью процесса выбора корректирующих действий является устранение, сокращение или контролирование рисков, представляющих опасность для здоровья людей и окружающей среды. Результаты оценки базового риска позволяют установить приемлемые уровни воздействий с целью их дальнейшего использования при разработке альтернативных корректирующих действий.

Менеджеры по рискам при выработке различных вариантов корректирующих действий должны рассмотреть несколько видов информации дополнительно к оценке базового экологического риска. Особое беспокойство для менеджмента экологического риска на объекте вызывает возможность продуцирования негативных воздействий самими корректирующими действиями. При этом должна быть использована возможность мониторинга экологических составляющих на объекте для определения эффективности выбранных корректирующих действий с оценкой характера их воздействий на испытываемый объект.

Предпочтительные корректирующие действия должны минимизировать риск долгосрочных воздействий, которые могут возникнуть в результате корректирующих действий и любого остаточного загрязнения. Если в результате корректирующих действий на испытываемом объекте остаются загрязнения, предположительно представляющие опасность для окружающей среды, обоснование выбранных корректирующих мер должно быть подробно описано и документально оформлено.

На тех объектах, на которых проводятся корректирующие действия для снижения неблагоприятных воздействий и рисков, результаты таких мер необходимо сопоставить с предположениями, сделанными в процессе оценки экологического риска. Поскольку, как правило, трудно продемонстрировать эффективность корректирующих мер по снижению риска для здоровья людей, представляется возможным продемонстрировать эффективность корректирующих мер в части снижения экологических рисков.

## **5.2 Материалы обоснований по экологической безопасности (от первых исследовательских работ до ОВОС)**

В отношении радиационного фактора оценки возможного воздействия на человека и окружающую среду (в рамках старой парадигмы) начали выполняться уже сравнительно давно, фактически с момента начала выполнения атомных проектов в США и СССР. Опыт, полученный из наблюдений за судьбой радионуклидов, попавших со сбросами и выбросами в окружающую среду на первенцах атомной индустрии в США и СССР, давал возможность оценивать возможные дозы облучения населения. Этот опыт накапливался специально созданными научными подразделениями, рождение которых было приурочено к промышленному использованию атомной энергии.

В мировой практике сложились две основные процедуры для прогнозирования, оценки и экологических последствий намечаемой хозяйственной деятельности — оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) и оценка экологического риска (ОЭР).

### **5.2.1 Исторические аспекты развития методологии экологического менеджмента**

ОВОС как стадия экологического проектирования сформировалась в начале 70-х годов с принятия в 1969 г. Акта о Национальной политике по охране окружающей среды в США [Башкин, 2005]. Довольно быстро, заслужив признание, эта методология превратилась в мощный превентивный инструмент, широко применяющийся в практике экологического регулирования в более чем 100 странах мира [Canter, 1996]. Истоки методологии во многом были связаны с реализацией масштабных атомных проектов в двух крупнейших ядерных державах и становлением такой научной дисциплины, как радиоэкология.

В Манхэттонском проекте в 1943 г. появилась Клинтонская лаборатория<sup>13</sup>, куда входил и англичанин Герберт Паркер<sup>14</sup> (Herbert Parker, 1910-1984). Паркер был инициатором наблюдений за

---

<sup>13</sup> Clinton Laboratory, Oak Ridge, Tennessee позднее Окриджская Национальная Лаборатория (ORNL)

<sup>14</sup> Ввёл в обращение такие единицы как «физический эквивалент рентгена» (roentgen equivalent physical — rep), и биологический эквивалент рентгена (roentgen equivalent biological — reb), предвестников таких единиц измерения как «Грэй» и «Зиверт».

распределением радионуклидов в окружающей среде. Он также был одним из первых учёных, который провёл количественные оценки последствий аварии на ядерном реакторе, представляя эпохальный документ по этому вопросу на первой Конференции Организации Объединённых Наций по мирному использованию атомной энергии в 1955 г. [Parker, 1956].

В СССР 25 декабря 1946 г. состоялся пуск под руководством И.В. Курчатова первого физического реактора Ф-1, а 27 декабря 1946 г. был подписан Министром земледелия СССР И.А. Бенедиктовым приказ № 24сс о создании Биофизической лаборатории (БФЛ) при Московской сельскохозяйственной академии им. К.А. Тимирязева (ТСХА) [Могилёвкин, 2007].

Исследования, направленные на изучение миграции различных радионуклидов в природных средах и на накопление их в отдельных объектах, изначально были нацелены на обеспечение безопасности человека. Например, в ядерном центре Хэнфорд в штате Вашингтон довольно рано внимание местных учёных было приковано к радиоактивным сбросам в реку Колумбия. В частности изучалось накопление радионуклидов в местной рыбе, особенно это касалось таких изотопов как  $^{32}\text{P}$  и  $^{157}\text{Zn}$ . Целью исследований была оценка возможных доз облучения населения в случае потребления такой рыбы, а также определения границ опасного для человека распространения радионуклидов. Именно об этом был их доклад на первой сессии НКДАР ООН в 1955 г. [Foster and Davis, 1956]. Изучались пути загрязнения и наземных трофических цепочек. Так уже в 1946 г. в щитовидной железе овец, пасущихся недалеко от Хэнфорда, обнаруживаются радиоактивные изотопы йода [Herde, 1946]. Результаты подобных исследований в США не становятся достоянием широкой общественности из-за режима секретности вокруг всех работ, связанных с разработкой ядерного оружия.

В СССР основные направления исследований в первое десятилетие после создания БФЛ были сосредоточены на [Могилёвкин, 2007]:

1. Почвенная химия радиоактивных продуктов ядерного деления применение метода радиоактивных индикаторов в агрохимических исследованиях. Руководитель — В.М. Клечковский.
2. Изучение поведения радиоактивных продуктов деления в системе почва-растение. Руководитель — И.В. Гулякин.
3. Действие на растения излучений от внешних источников и от инкорпорированных радиоизотопов — элементов питания растений. Руководитель — А.Г. Шестаков.
4. Разработка методов измерения радиоактивности. Конструирование аппаратуры. Руководители — А.С. Завельский (до 1949) и С.П. Целищев.

Чуть позднее в 1950 г. при кафедре физиологии и биохимии животных ТСХА была создана исследовательская группа по изучению поведения радиоактивных продуктов ядерного деления в животном организме (физиология метаболизма, накопление в организме и поступление в продукцию животноводства, приёмы, снижающие накопление). В эту группу входили молодые специалисты Б.Н. Анненков (1927 г.р.), К.А. Колдаева (1906 г.р.), Н.П. Стрельченко, Г.В. Филатов. До 1956 г. в СССР все работы с продуктами деления имели высокий гриф секретности, и поэтому в отечественной литературе упоминаний о них нет. Да и систематические публикации зарубежных авторов начали появляться лишь с 1953 г.

Первые отечественные публикации появились в 1956 г., после снятия грифа секретности. К числу первых отечественных практических работ можно отнести обширное обследование в 1955 г. бассейна реки Течи, которое позволило оценить радиоэкологическую обстановку на территории, подверженной в течение ряда лет радиоактивным сбросам с химкомбината «Маяк» и предложить ряд рекомендаций по использованию загрязнённых территорий. В этих работах принимали участие от БФЛ: А.В. Егоров («*микрощеф*» экспедиции), В.В. Саевич, Л.Н. Соколова, а от кафедры физиологии и биохимии животных ТСХА: Б.Н. Анненков, К.А. Колдаева, Г.В. Филатов [Могилёвкин, 2007]. Общее руководство экспедицией Минздрава СССР осуществлял сотрудник Института биофизики МЗ СССР профессор Александр Николаевич Марей [Анненков, 2007]. Под

его же руководством экспедиция ИБФ в составе Ф.К. Лёвочкина, Ю.М. Саурова, Е.И. Орловой, В.Е. Ефремова, Л.Н. Смиренного в 1956 г. оценивала уровни загрязнения объектов окружающей среды от места сброса в р. Теча до г. Тобольска (рисунок 5.4) [Смиренный, 2003].



Рисунок 5.4 – Схема работ по радиозоологическому обследованию бассейнов р. Течи и р. Тобол [Смиренный, 2003]

По существу, это было первое отечественное региональное радиозоологическое исследование.

Авария на комбинате Маяк в сентябре 1957 г., сформировавшая Восточно-Уральский радиоактивный след (ВУРС), и последовавшее образование Опытной научно-исследовательской биогеоценологической станции (ОНИС) в 1958 г., под научным руководством В.М. Ключковского, заложили основу отечественной радиозоологической школы.

Одновременно Н.В. Тимофеевым-Ресовским закладывается в 1956 г. биостанция на озере Большое Миассово в Ильменском заповеднике, а на оз. Сунгуль в 25 км от «Маяка» под его руководством работает лаборатория «Б». В этот период им были заложены основы радиационной биогеоценологии, как составной части биогеоценологии, о судьбе радионуклидов в биосфере.

Строительство энергетических реакторов в густонаселённых районах страны способствовало развитию мониторинговой сети вокруг этих объектов с целью оценки возможного влияния на формирование дозовых нагрузок на население от радиоактивных сбросов и выбросов в окружающую среду. Под методическим руководством специалистов ИБФ МЗ СССР на НВАЭС создаётся служба внешней дозиметрии и радиационного контроля (руководитель Ляпина), закладываются методические основы регулярного и публичного контроля за состоянием окружающей среды вокруг объектов ядерной энергетики. Для оценки дополнительных дозовых нагрузок на население от эксплуатации ЯРОО при нормальной работе и в случае аварийных ситуаций возникает необходимость оценки радиационной обстановки до существования радиационно опасного объекта. Среди специалистов эта работа получила название **«снятие нулевого фона»**. Основой для этого послужили: опыт мониторинга вокруг первых объектов атомной отрасли, разработанные и апробированные в ИБФ МЗ СССР рекомендации, которые были утверждены руководителями Министерства Среднего машиностроения и Минздрава СССР в 1979 [Рекомендации, 1979].

До аварии на ЧАЭС на строящихся АЭС работу по «снятию нулевого фона» проводили сотрудники Института биофизики МЗ СССР, а их отчёты оседали в запасниках 3 ГУ МЗ СССР. Хотя в этих исследованиях основное внимание было сосредоточено на измерении традиционных радиационных параметров на площадке объекта и вокруг него, по сути, эти работы были предтечей будущих исследований по оценке радиационного воздействия на население и окружающую среду.

Как уже упоминалось, первоначально под объектом радиационного воздействия понимался человек, и оценивалась максимально возможная дозовая нагрузка на отдельного человека, впоследствии, стали оценивать дозы на критическую группу, используя целый ряд консервативных предположений как в отношении образа жизни людей, так и по поведению радионуклидов в окружающей среде. После выхода Публикации 60 МКРЗ (Publication 60) к этим оценкам добавилась и оценка коллективной дозы на ограниченную группу населения. Размеры этой ограниченной группы не были оговорены, так же возникали практические трудности с интегрированием дозовых нагрузок из-за неопределенностей функции распределения радиационных параметров. Несмотря на это величина коллективной дозы стала играть определяющую роль при оценках возможного ущерба от радиоактивных выбросов и сбросов предприятий.

В связи с принятым в стране курсом на развитие атомной энергетики (решения XXV съезда КПСС) вопросы охраны окружающей среды и обеспечения радиационной безопасности населения начинают занимать достойное место. Десятки лабораторий в различных научно-исследовательских институтах начинают предметно заниматься развитием радиоэкологических методов.

С 1975 г. начинается регулярный выпуск сборников под редакцией Ю.А. Егорова «Радиационная безопасность и защита АЭС», в котором наряду с техническими вопросами защиты реакторов, оценок радиационных полей и дозовых затрат персонала широко обсуждаются, начиная с 5-го выпуска (1981), пути поступления радиоактивных отходов во внешнюю среду, вопросы распространения выбросов в атмосфере, накопления и миграции радиоактивных нуклидов в объектах внешней среды, оценки дозовых нагрузок на население, методы прогнозирования радиационной обстановки.

26-28 мая 1981 г. в г. Димитровграде на базе Научно-исследовательского института атомных реакторов им В.И. Ленина была проведена первая Всесоюзная конференция «Радиационная безопасность населения и защита окружающей среды в связи с эксплуатацией АЭС», организованная Институтом биофизики Минздрава СССР. На этом научном форуме были широко представлены доклады по комплексной оценке экологических проблем развития атомной энергетики. Был сделан еще один важный шаг на пути практического решения вопросов по обеспечению радиационной безопасности населения и объектов окружающей среды в районах расположения ЯРОО.

Авария на ЧАЭС поставила вопрос о целесообразности использования коллективной дозы при оценках ущерба, заставив обратить внимание на более прагматичные критерии, позволяющие корректнее обращаться с экономическими категориями. В начале XXI века последовал всплеск оценок, связанных с предполагаемыми сценариями радиационного терроризма. Эти оценки окончательно похоронили идею использования коллективных доз для оценок ущерба. Параллельно в мире стала развиваться экоцентрическая концепция.

В СССР после аварии на ЧАЭС, когда программа развития АЭС по всей стране все еще продолжала набирать ход, на волне новой открытости стало возможным реализовать новые идеи, направленные, как думалось авторам, на сближение позиций общества и атомщиков, на преодоление радиофобии с одной стороны и на открытые радиологические исследования с другой. Вырваться из закрытых лабораторий на просторы естественнонаучного поиска, на реализацию новых системных подходов к изучению сложных природных явлений – вот что двигало различные группы научных сотрудников в то время. Коллективом энтузиастов во главе с Игорем Климентьевичем Дибобесом была разработана методика по оценке воздействия атомных предприятий (прежде всего АЭС) на объекты окружающей среды, получившая сокращённое название: «ОВОС». Одновременно с этим были разработаны «Временные требования к структуре и содержанию ТЭО, проекта строительства атомной станции: оценки воздействия АС на окружающую среду» [Временные, 1990]. В проектах вновь строящихся и развивающихся АЭС (Татарская, Башкирская, Костромская, Ростовская, Нововоронежская 2-ая очередь, Калининская,

Дальневосточная), благодаря этим усилиям, появился специальный том, где наряду с радиационными параметрами, характеризующими площадку строительства, появились характеристики ландшафтов, сельскохозяйственное использование территорий, качественное и количественное описание обитающих видов животного и растительного мира, особо охраняемых объектов природы. В ОВОС'е в общем виде нашел своё воплощение системный подход, о котором говорил еще в 30-ые годы прошлого века биолог Л. фон Бергаланфи.

Желание охватить многочисленные аспекты охраны окружающей среды авторы первых требований к ОВОС, возможно, несколько перегрузили новый раздел проекта. Достаточно сказать, что том ОВОС'а содержал 35 глав и 227 разделов, требующих обязательного заполнения и охватывающих очень широкий круг вопросов. Границы изучаемой системы во многом ещё были искусственными, привязанные к административным образованиям (из-за особенностей сбора и анализа многих статистических параметров), взаимосвязи между элементами системы во многом ограничивались пищевыми цепочками и хозяйственной деятельностью и нацелены были на человека (антропоцентрический подход). Динамические процессы в развитии системы как нечто целостного ограничивались демографией, и все же это был методологически значительный шаг вперед, во многом созвучный и развитию международных подходов. Мечтой Игоря Климентьевича Дибобеса (научного руководителя Экоцентра МТЭА<sup>15</sup>) и идейного вдохновителя по разработке ОВОС осталось вовлечение в анализ этой системы эстетических категорий (новая архитектура, гармоничное слияние с ландшафтом, создание образа промышленной красоты).

«Временные требования» развивались на волне с одной стороны нахлынувшего на страну предпринимательства, ощущения грядущих перемен, когда многие декларируемые властью ценности можно будет овестествить в практической деятельности, когда достижения науки и голос специалистов реально будут услышаны и положены в основу принимаемых решений. В эти требования закладывались достижения западных учёных не только в части экологии, но и по вопросам финансирования производственного цикла с момента зарождения проекта до полного окончания, включая затраты на снятие производства с эксплуатации и такое последующее обустройство территории, которое бы соответствовало бы эволюционному развитию цивилизации. Иными словами, проект должен быть способствовать прогрессу на длительной перспективе. Конечно то, что вкладывали разработчики «Временных требований по ОВОС» далеко не всеми воспринималось именно так. Для управленческого аппарата это была и уступка демократическим движениям, среди лозунгов которых было обеспечение охраны окружающей среды и решение ряда собственных задач тактического плана. Именно поэтому согласование и дальнейшее внедрение в практику работы проектных организаций рекомендаций по ОВОС вошло сравнительно легко.

Стоит подчеркнуть, что в первую очередь это коснулось атомной отрасли. Произошло это отчасти и потому, что авария на Чернобыльской АЭС и раздутая до неимоверных размеров компания по ликвидации явных и мнимых её последствий набрала в этот момент наибольшую силу. Отчасти этому способствовало то обстоятельство, что в этой области были наиболее готовы и методически и аппаратурно, и главное с кадровой обеспеченностью к решению вопросов защиты и охраны окружающей среды и здоровья населения. Немаловажным обстоятельством явился и тот факт, что ОВОС изначально касался таких крупных проектов, как строительство атомных станций, бюджет которых превышал как минимум миллиард долларов США. Выделение из огромной суммы небольшой доли средств на оценку возможного вреда и предпроектные исследования не представляли в принципе серьёзной экономической проблемы.

Позже, когда Министерство по охране окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации предприняло попытки распространить положительный опыт на другие отрасли российской промышленности, то слабость развития сети мониторинга по токсичным веществам и, что немаловажно, экономические проблемы стали серьёзным препятствием для

---

<sup>15</sup> МТЭА — Международная топливно-энергетическая ассоциация.

практической реализации разработанных программ. Нередко оказывалось, что затраты на оценку воздействия (часто при очевидном уменьшении его вредности на население и природную среду от предлагаемого усовершенствования технологии) превышали все выгоды проекта. Отсутствие достаточного набора критериев по оценке объёма проводимых в рамках ОВОС работ, а главное достаточного здравого смысла в условиях экономического кризиса на какое-то время заморозило идею внедрения ОВОС в другие отрасли.

Фактическая остановка строительства новых энергоблоков в 90-х годах в России приостановила и работы по ОВОС в атомной отрасли, и модернизацию требований к проведению подобных оценок. И только уже в новом тысячелетии, когда реально заговорили об атомном ренессансе, и началось постепенное возрождение экономики, появилась востребованность и к проектному тому ОВОС. При этом международное сообщество в лице своих основных организаций, курирующих вопросы радиационной и ядерной безопасности, заметно продвинулось вперёд, и разработало новые руководящие документы, усиливающие интерес к охране окружающей среды не только на глобальном, но и на локальных уровнях. В этих новых рекомендациях к странам, использующим атомные технологии, появились, в частности, требования по обязательной обоснованности защиты биоты при нормальной эксплуатации объектов. Хорошо понимая сложность поставленной задачи, эксперты МКРЗ и МАГАТЭ, разработали последовательное внедрение этих требований в реальные проекты. Начиная с Публикации 91 МКРЗ [ICRP, 2003], в которой были только сформулированы общие положения относительно оценок защищенности окружающей среды от потенциальных радиационных воздействий, до Публикаций МКРЗ 108, 114, 124 [ICRP, 2008; ICRP, 2009; ICRP, 2014], в которых предлагается определенный инструментарий для предварительных оценок воздействия на объекты окружающей среды, Международная Комиссия (МКРЗ) формирует, по существу, новую концепцию, определяющую взаимоотношения между развитием техносферы и защитой биосферы. Несмотря на то, что публично МКРЗ не меняет свою позицию в отношении окружающей среды, изложенную в Публикации 60 [ICRP, 1991]:

*«Комиссия считает, что соблюдение стандартов контроля окружающей среды, необходимых для защиты человека в той мере, которая признается в настоящее время желательной, обеспечит также отсутствие риска и для других видов живых организмов»,*

она считает, что Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) должно учредить соответствующие международные проекты, включая международные стандарты и механизмы для их глобального применения, по ограничению выбросов радиоактивных материалов в окружающую среду в долгосрочной перспективе с тем, чтобы был адекватно защищен не только человек, но и другие живые виды в окружающей среде.

Сама МКРЗ после Публикации 91 в рекомендациях 2007 года [ICRP, 2007] существенно расширяет систему защиты. В этих рекомендациях рассматриваются цели и задачи защиты окружающей среды и объясняются основы предложенных референтных животных и растений (РЖР), которые представляют собой небольшой набор гипотетических существ, являющихся репрезентативными животными и растениями в различных средах (наземной, пресноводной, морской), и которые образуют основу структурного подхода к оценке воздействий ионизирующих излучений.

Концепция и использование РЖР более подробно рассматриваются в Публикации 108 [ICRP, 2008], в которой содержится информация по принятой биологии, дозиметрии и имеющимся базам данных по эффектам для этих объектов. Для каждого из РЖР был предложен ряд Референтных уровней, установленных с учетом соответствующих факторов, как численная рекомендация для оценки уровня потенциальных и фактических радиологических воздействий и как информация для принятия решений. Эти значения определены в виде диапазонов доз, в пределах которых наблюдаются определенные эффекты, уделяя внимание тем значениям, которые могут иметь воздействие на популяционные структуры рассматриваемых животных и растений. В 2009 году выходит Публикация 114 [ICRP, 2009], описывающая параметры перехода для ряда РЖР.

Опыт такого применения международных рекомендаций был апробирован на целом ряде отечественных предприятий в рамках выполнения Государственного контракта<sup>16</sup>. Выполненные оценки убедительно показали правоту отечественных учёных, утверждавших, что во всех практических случаях при обеспечении защиты человека, все остальные виды биоты будут также защищены [Крышев и Рязанцев, 2010]. Этот принцип, впервые сформулированный В.М. Клечковским в 1956 г., убедительно подтверждался и в 80-ые годы [Алексахин, 1982], и в начале третьего тысячелетия [Казаков и Линге, 2003; Казаков и Линге, 2004]. Во многом это происходило потому, что критерии защищенности человека и биоты строились на различных платформах. Убежденность в том, что человек должен защищаться более надежно, чем остальные виды происходит из того неизжитого пока постулата, что мир создан для человека, а не наоборот. Эгоцентричное восприятие мира сложно совместить с внедрением эгоцентрических подходов. Между тем подспудно развивается точка зрения, что оценки доз облучения биоты, экологических рисков и возможного вреда от радиационного воздействия также должны выполняться при реализации любых значимых проектов объектов использования атомной энергии (ОИАЭ).

В этой связи хочется отметить, что в первых требованиях к ОВОС уже были заложены все основные кирпичики для реализации развивающихся концепций и выполнения современных международных рекомендаций. Более того, в ряде разделов они были даже шире, т.е. иными словами опережали значительно более выверенные с реальными возможностями шаги, по которым двигалось мировое сообщество экологов. Так в ОВОС не ограничивались сбором сведений только о референтных видах биоты, а должны были рассматриваться и местные эндемичные виды и те индикаторные виды, которые наиболее аккумулируют радиоактивные вещества (главы 7-10) [Временные, 1990]. Кроме того, в ОВОС были заложены основы для проведения комплексной экологической оценки состояния окружающей среды под действием всех антропогенных факторов воздействия. Во многом новаторскими до настоящего времени остаются такие требования ОВОС, как, например: «Оценка условий и возможностей восстановительной сукцессии в экосистемах, мероприятиях по возмещению ущерба животному и растительному миру; переселение животных, лесопосадки, восстановление лугов и пастбищ и др.» [Временные, 1990, раздел 33.8]. Под ряд таких новаторских требований до настоящего времени не разработаны и не утверждены в РФ соответствующие критерии. В качестве примера можно привести раздел 34.5 Временных требований: – «Характеристика риска – вероятность социально-экономического и экологического ущерба при нормальной эксплуатации и в случае аварии». Обосновано раскрыть содержание этого раздела проекта и в настоящее время достаточно сложно из-за отсутствия соответствующих нормативных документов.

Изменения, произошедшие в стране после развала СССР, коснулись главным образом экономики, перешедшей с рельсов государственного планирования на принципы хозяйствования с рыночными элементами. Необходимость в жёстком структурировании проектной документации в отношении различных по своей значимости предприятий стала еще более очевидной. Кроме того, необходимо было предоставить хозяйствующему субъекту большую самостоятельность в выборе инструментария для обоснования безопасности эксплуатации его предприятия. В связи с этим необходимо было внести коррективы и в требования по охране окружающей среды и защите населения. Для ряда объектов использования атомной энергии ОАО «Концерн Росэнергоатом» разработал и утвердил в 2012 г. Методические указания по разработке материалов оценки воздействия на окружающую среду в составе проектной и иной документации на осуществление видов деятельности в области использования атомной энергии [Методические, 2012].

Согласно новым Методическим указаниям (далее МУ-2012) при проведении ОВОС необходимо учитывать основные международные принципы анализа радиоэкологической

---

<sup>16</sup> Государственный контракт № Н.4п.23.12.08.168 от 21.02.2008 г. «Разработка критериев, методов и программно-технических средств оценки текущих и прогнозируемых уровней экологического влияния ядерно и радиационно опасных объектов на население и окружающую среду» между Госкорпорацией «Росатом» и Фондом экологической безопасности энергетики.



безопасности и радиологической защиты рекомендуемые МАГАТЭ: обоснование, оптимизация и дозовые ограничения, которые также присутствовали и в отечественном законодательстве, но выполнялись далеко не всегда, особенно в части соблюдения принципа оптимизации.

Кроме того, при разработке ОВОС необходимо соблюдать следующие принципы, которые в основном (несколько в сокращенном виде) перенесены из Приказа Госкомэкологии № 372 от 16 мая 2000 г.<sup>17</sup> [Приказ, 2000]:

1. «Презумпция потенциальной экологической опасности любой намечаемой хозяйственной или иной деятельности.
2. Обязательность проведения ОВОС на всех этапах подготовки документации, обосновывающей хозяйственную или иную деятельность, до ее представления на государственную экологическую экспертизу.
3. Снижение (предупреждение) возможных неблагоприятных воздействий на окружающую среду и вызываемых ими последствий в случае реализации намечаемой деятельности в области использования атомной энергии.
4. Обязательности рассмотрения альтернативных вариантов достижения цели<sup>18</sup> намечаемой хозяйственной и иной деятельности.
5. Обеспечение участия общественности в подготовке и обсуждении материалов по оценке воздействия на окружающую среду, намечаемой хозяйственной и иной деятельности, как неотъемлемой части процесса проведения оценки воздействия на окружающую среду.
6. Привлечение к разработке ОВОС специализированных научных организаций.
7. Обеспечение своевременного получения необходимой достоверной информации всеми участниками процесса оценки воздействия на окружающую среду.
8. Использование в качестве критериев оценки негативных последствий ОИАЭ на население и окружающую среду действующих санитарных и экологических норм и правил.
9. Достоверность и научная обоснованность результатов ОВОС».

Следует отметить, что два принципа из Приказа Госкомэкологии не вошли в МУ-2012, что, впрочем, не отменяет необходимости их использования при подготовке ОВОС. Это следующие принципы (цитируется по Приложению к Приказу [Приказ, 2000]):

*«2.8. Результаты оценки воздействия на окружающую среду служат основой для проведения мониторинга, после проектного анализа и экологического контроля за реализацией намечаемой хозяйственной и иной деятельности.»*

*2.9. В том случае, если намечаемая хозяйственная и иная деятельность может иметь трансграничное воздействие, проведение исследований и подготовка материалов по оценке воздействия на окружающую среду осуществляется с учетом положений Конвенции ЕЭК ООН об оценке воздействия на окружающую среду в трансграничном контексте.»*

Изложение принципов разработки ОВОС в МУ-2012 следует рассматривать как положительное явление.

Важное нововведение касается разбивки ОВОС на различные этапы инвестиционного проектирования, что, безусловно, оправдано, особенно при крупных проектах. Соответственно этому и требования к материалам по ОВОС на различных этапах несколько различаются.

На первом этапе технико-экономического обоснования проекта (Декларация о намерениях) выполняется предварительная оценка воздействия на окружающую среду намечаемой деятельности. Состав ОВОС на этом этапе определяется требованиями Приказа Госкомэкологии

<sup>17</sup> Намечаемая хозяйственная и иная деятельность способная оказать воздействие на окружающую природную среду и являющаяся объектом экологической экспертизы [Приказ, 2000].

<sup>18</sup> В МУ-2012 опечатка — пропущено слово «цели»

№ 372. При этом указывается, что специальные исследования могут не проводиться, а можно ограничиться фондовыми информационными материалами. Однако из дальнейшего изложения требований к ОВОС (Приложение А) становится ясным, что ситуация, когда исследования не нужны будет крайне редкой. При этом прилагаемое типовое содержание (Приложение А) существенно более бедное, чем основной текст МУ-2012. Для разработчиков, видимо, не совсем будет ясно, чем же им руководствоваться при подготовке Декларации о намерениях.

Следующий этап – разработка ОВОС в составе Обоснования инвестиций (ОБИН) в строительство ОИАЭ. Для этого этапа характерна, во-первых, обязательная альтернативная разработка районов размещения ОИАЭ. Во-вторых, более полно освещаются вопросы обращения с радиоактивными и нерадиоактивными отходами, а также обращения с отработанным ядерным топливом (если таковое имеется). Подробно рассматриваются проектные и запроектные аварии на ОИАЭ. При этом, как и в старых требованиях не оговариваются не учитываемые для проектных аварий исходные события для запроектных аварий и вероятности их реализации. Не очень обосновано и обязательное требование разработки альтернативных районов размещения при отсутствии требований, например, к рассмотрению альтернативных источников энергии, альтернативных энергетических установок и т.п. Думается, что конкретный исполнитель обязан хорошо проработать свой проект и предложения, а другие претенденты (при существовании реального конкурса) предлагают свои варианты достижения хозяйственной цели. При этом понятно, что заявитель имеет право разрабатывать и предоставлять на конкурс несколько вариантов, в том числе и по размещению энергетической установки.

В МУ-2012 на этом этапе по ряду пунктов требуются существенно более простые процедуры оценки. Так при характеристике наземных экосистем в новых требованиях (раздел Б.4.2) можно ограничиться фондовыми и литературными данными, которые, как правило, очень ограничены и не локализованы применительно к возможным площадкам строительства. То же относится и к определению уровней содержания в почвах и характерных видах биоты химических и техногенных радиоактивных веществ (п. Б.4.2.3 и п. Б.4.2.4). Т.е. снятие нулевого фона в районе размещения крупного атомного объекта, если нет фондовых данных, не требуется.

Меньше требований стало и к гидробиологическим характеристикам водных объектов.

Раздел Б.5 (Прогноз воздействия ОИАЭ на окружающую среду) достаточно компактный. В новых требованиях в общем виде предоставляются только результаты расчетов. Это упрощает подготовку ОВОС, но в то же время не дает Заказчику должного инструментария для принятия управленческих решений по оптимизации мероприятий, направленных на обеспечение безопасности населения и защиты окружающей среды.

К числу нововведений можно отнести и требование оценки экологического риска взамен просто оценки различных рисков, начиная от возможных опасных явлений в районе расположения ОИАЭ и кончая рисками смерти или онкозаболеваемости при запроектных авариях на ОИАЭ. Впрочем, как и в предыдущих требованиях по ОВОС здесь мало конкретики, и оценку экологического риска следует проводить *«в соответствии с принятыми концептуально-методическими подходами»* (п. 5.5.4). Т.е. практические трудности в реализации этого требования ОВОС пока еще не преодолены.

Третий этап – разработка ОВОС на этапе строительства ОИАЭ. Этот этап сравнительно скромен и связан с оценкой возможного воздействия на объекты окружающей среды и на здоровье человека в период производства строительных работ.

Вывод ОИАЭ из эксплуатации. Этот раздел наиболее расплывчат и ограничивается требованиями по концептуальным положениям вывода из эксплуатации, по сравнению со старыми требованиями, где необходимо было показать различные параметры, в том числе и ориентировочную стоимость снятия объекта с эксплуатации.

Наиболее близок к старым требованиям по ОВОС этап (заключительный) разработки раздела «Перечень мероприятий по охране окружающей среды» проекта ОИАЭ.

По сравнению со вторым этапом здесь приводятся уже исключительно проектные данные по всевозможным компонентам воздействия ОИАЭ на окружающую среду (радиационные и химические, сбросное тепло).

В описании наземных (п. 3.2) и водных (п. 3.3) экосистем много схожего, но убрана излишняя детализация. Зато появились требования о проведении детальных полевых исследований и закладки пробных площадей в контрольных экосистемах и определении референтных водных объектов. Определяется порядок и объем измерений по химическому, радиационному загрязнению объектов окружающей среды на пробных площадях и в референтных водных объектах (п. 4.2 и п. 4.3).

В дополнение к старым требованиям в новых МУ-2012 требуется оценка дозовых нагрузок не только на население, но и на критические элементы наземных и водных экосистем как при нормальной эксплуатации, так и в случае проектных и запроектных аварий. Для населения при авариях требуется оценить необходимость применения дополнительных защитных мероприятий.

По нерадиационным факторам воздействия расширена номенклатура видов воздействия. Наряду с химическими загрязняющими веществами в них входит тепловое, электромагнитное, шумовое воздействие.

Производится оценка экологического риска, и указываются наиболее уязвимые экосистемы.

В томе ОВОС (раздел 7) также впервые необходимо внести обоснованные предложения по установлению предельно допустимых выбросов (ПДВ) и предельно допустимых сбросов (ДС). В этом же разделе необходимо указать значительный перечень мероприятий по охране окружающей среды и снижению негативных последствий от различных воздействий ОИАЭ.

По-прежнему в ОВОС остались незатронутыми такие относительно новые проблемы в области радиоэкологии как вывод из эксплуатации ОИАЭ. Между тем этот аспект использования атомной энергии является обязательной составляющей обеспечения экологической безопасности [Кузнецов, 2009]. В настоящее время из работающих в мире около 400 энергетических ядерных реакторов примерно четверть функционирует на рубеже сроков своей эксплуатации. Остановлены и находятся на разных стадиях вывода из эксплуатации 110 энергоблоков. В России остановлены энергоблоки Белоярской и Нововоронежской АЭС, и проводится подготовка к выводу их из эксплуатации. На очереди новые энергоблоки.

Экологические решения необходимы для планируемого выведения из эксплуатации 12 российских промышленных уранграфитовых реакторов (ПУГР).

Требуется установить радиоэкологические критерии, которые могут быть использованы для описания состояния окружающей среды на «бурой» и «зеленой лужайках» – площадках, образующихся после вывода из эксплуатации объектов использования ядерной энергии и их реабилитации, что предопределяет степень очистки загрязненных территорий, необходимость рекультивации почвенного покрова.

Несмотря на то, что некоторые вопросы по обеспечению радиоэкологической безопасности находятся еще в стадии разработки или даже обсуждения, требования, предъявляемые к ОВОС объектов использования атомной энергии, подлежат исполнению. Часть отсутствующих в России нормативных актов в ходе подготовки ОВОС могут быть частично заменены международными правовыми актами, в отдельных случаях можно воспользоваться накопленным отечественным и международным опытом решения подобных задач. Надо сказать, что такого опыта накоплено уже достаточно много, и хотя закон обязывает хозяйствующего субъекта руководствоваться принципом презумпции потенциальной экологической опасности и доказывать, что опасность ниже установленных или используемых в мире критериев, можно и нужно использовать прецедентное право. К сожалению, это право в области охраны окружающей среды еще в значительной степени не заработано. Однако определенные шаги в этом направлении необходимо совершать и инициатива тут может принадлежать именно хозяйственнику, доказывающему безопасность своего производства. На другой стороне такого разбирательства должны быть

собраны такие аргументы, которые бы доказывали, что опасность от данной производственной деятельности, по меньшей мере, сопоставима с той пользой, которую приносит производство. И это, между прочим, не такое простое дело. И хотя собирать доказательства по опасности, как правило, проще, чем по доказательству безопасности, здесь также немало сложностей, связанных в немалой степени с отсутствием четких критериев.

Конечно, лучшим вариантом является достигнутый в результате общественных обсуждений консенсус по вопросам обеспечения экологической безопасности рассматриваемого объекта. Но поскольку результаты научной экспертизы далеко нетривиальны, и в случае конфликтных ситуаций не могут решаться быстро и эффективно, практика судебных решений должна всячески распространяться, а решения суда должны стать важным аргументом для органов местного самоуправления или органов исполнительной власти при решении вопросов о допустимости или недопустимости намечаемой деятельности на подведомственной территории.

### **5.3 Оценка вреда от радиационного воздействия на окружающую среду**

Реализация цели — обеспечения безопасности при использовании атомной энергии, выраженная через предотвращение негативного воздействия на здоровье человека и окружающую среду, достигается через выполнение положений большого числа международных конвенций, документов МАГАТЭ и других организаций, а также требований отечественных законов, в том числе «Об использовании атомной энергии» и «Об охране окружающей среды». Ряд положений по обеспечению безопасности предусматривают также земельный, водный и лесной кодексы. При этом регулирование осуществляется на уровне не только принципов и подходов, но и ответственности за вред и ущерб. Меры ответственности должны базироваться на определенных процедурах, в том числе количественной оценки вреда или ущерба. В области охраны окружающей среды, в отличие от радиационной безопасности человека, включая работников и население, для которых созданы нормативные документы, определяющие допустимые уровни радиационного воздействия, такой нормативной базы нет, несмотря на статьи 21 и 22 закона «Об охране окружающей среды» [Федеральный, 2011]. Эти статьи предусматривают установление нормативов качества природной среды и допустимого воздействия на нее, в том числе нормативов предельно допустимой концентрации радиоактивных веществ, уровня радиоактивности и допустимого воздействия ионизирующего излучения. Однако эти статьи до настоящего времени не реализованы, за исключением нормативов выбросов и сбросов радиоактивных веществ. Главными причинами этого являются методологические сложности создания такой системы в отношении всех указанных в них факторов, а не только радиационных, практическая неготовность отдельных отраслей экономики к экологическим ограничениям даже в тех случаях, когда ущерб можно доказательно увязать с источником загрязнения. В отношении радиационного фактора правовому регулированию в определенной мере препятствовала нерешенность вопроса о том, на каком подходе должна строиться система охраны окружающей среды — антропо- или эоцентрическом [Алексахин, 2013]. Постановление Правительства РФ от 19 октября 2012 г. № 1069 инициировало необходимость более детального изучения данной проблемы, поскольку им в составе критериальной формулы для отнесения к особым радиоактивным отходам был задан совокупный размер вреда окружающей среде.

Ниже описывается методический подход, основанный на нормативных документах в области охраны окружающей среды, который позволяет оценить возможный ущерб от радиационного вреда биоте в денежном эквиваленте [Крышев и др., 2014].

#### **5.3.1 Анализ радиационной безопасности окружающей среды**

Ущерб оценивается на основе анализа окружающей среды в районе расположения радиационного объекта, включающего в себя следующие этапы:

- идентификация источников радиационно-экологического воздействия и возможных путей загрязнения компонентов природной среды (почвы, поверхностных и подземных вод, атмосферного воздуха, растительного и животного мира);
- мониторинг радиационной обстановки и модельные оценки переноса радионуклидов;
- выбор референтных объектов биоты и определение мощности дозы их облучения;
- сопоставление расчетной мощности дозы с экологически безопасным облучением для референтных объектов биоты, обоснование целесообразности оценки ущерба флоре и фауне.

На этапе идентификации источников радиационно-экологического воздействия рассматриваются возможные пути облучения объектов растительного и животного мира: поступление радионуклидов в компоненты природной среды от радиационного объекта, радиоактивное загрязнение компонентов природной среды в результате предшествующей эксплуатации или радиационных аварий.

На этапе мониторинга анализируются и обобщаются наблюдения за мощностью дозы внешнего облучения, удельной и объемной активностью радионуклидов в компонентах природной среды в районе расположения радиационного объекта. При отсутствии данных оценивается содержание радионуклидов в компонентах природной среды с помощью радиозэкологических моделей.

В соответствии с рекомендациями МКРЗ [ICRP, 2009] референтные объекты для оценки радиационного воздействия выбираются из разных видов биоты: почвенные беспозвоночные, наземные млекопитающие (мыши, олень/косуля), травянистая растительность, деревья (сосна), птицы (утка), земноводные (лягушка), макроводоросли, рыба (пелагическая и бентическая), бентос (моллюски, ракообразные), водные млекопитающие. Определяются возможные пути, продолжительность облучения, параметры моделей оценки мощности поглощенной дозы, рассчитывается мощность дозы с учетом множественных путей воздействия. При оценке радиационного воздействия учитывается внешнее и внутреннее облучение. При недостаточности данных мониторинга может оцениваться мощность поглощенной дозы облучения представительных организмов на основе сценариев, представляющих собой совокупность фактов, допущений и экспертных заключений о том, каким образом происходит радиационное воздействие. Методы расчеты мощности дозы облучения адаптируются к местным условиям [UNSCEAR, 2011].

Оцененная мощность дозы облучения представительных объектов биоты сравнивается с экологически безопасной, т. е. определяется категория оцененного радиационного воздействия. Методология ограничения радиационного воздействия на биоту основана на постулате порогового действия ионизирующего излучения, подтвержденного экспериментальными данными [Крышев и Рязанцев, 2010; Крышев и Сазыкина, 2013; Крышев и Сазыкина, 2014; ICRP, 2008; ICRP, 2014; NCRP, 1991; US DOE, 2002; UNSCEAR, 2011]. качестве консервативного экологически безопасного уровня облучения объектов природной среды принимается мощность дозы 1 мГр/сут для позвоночных животных и сосны, и 10 мГр/сут для других видов растительного мира и беспозвоночных животных [ICRP, 2008; Рекомендации, 2015].

В соответствии с постулатом порогового действия ионизирующего излучения для биоты<sup>19</sup>, если мощность дозы на представительные виды биоты оказывается ниже экологически безопасного уровня, радиационный ущерб в целом для экосистемы полагается равным нулю, и дальнейший анализ возможного вреда не проводится. При превышении экологически безопасных уровней облучения фауны и флоры, оценивается ущерб, рассчитываемый в соответствии с

---

<sup>19</sup> Здесь речь не идет о том, что стохастических эффектов нет. Они есть, поскольку именно на животных установление стохастических эффектов от действия ИИ и было доказательно установлено. Речь идет о практическом пороге, ниже которого биологически эффекты воздействия ИИ просто не обнаруживаются в настоящее время имеющимися инструментальными методами.

законодательством об охране окружающей среды и установленными в нормативных документах расценками.

### 5.3.2 Методология оценки экологического ущерба

Под экологическим ущербом понимается ущерб для человека от нанесенного вреда окружающей среде вследствие загрязнения и деградации природных ресурсов и экосистем, возникающих в результате антропогенной деятельности. В общем случае экологический ущерб представляет собой денежное выражение натуральных потерь в социально-экономической сфере, вызванных загрязнением окружающей среды, включая потери здоровья человека и производительности хозяйственной деятельности; потери продуктивности природных систем, качества и комфортности окружающей среды; затраты на предотвращение деградации природных ресурсов и экосистем, затраты на ликвидацию последствий и возмещение негативных последствий антропогенной деятельности [Экономика, 2002].

Порядок определения размера ущерба от уничтожения природных ресурсов регламентируется Гражданским кодексом Российской Федерации, также как и в случае уничтожения материальных ресурсов, созданных человеком. В соответствии со статьей 15 ГК РФ размер ущерба определяется суммированием затрат, необходимых для восстановления нарушенных объектов и стоимости утраченных объектов (реальный ущерб), а также убытков, вызванных недополучением ожидаемых доходов (упущенная выгода).

Этот принцип оценки экологического ущерба зафиксирован в основных законодательных и нормативных документах, регламентирующих порядок оценки вреда, причиняемого земельным и лесным ресурсам, природной среде в целом и особо охраняемым природным территориям. Согласно статье 77 Федерального закона «Об охране окружающей среды», вред окружающей среде, причиненный субъектом хозяйственной и иной деятельности, возмещается в соответствии с утвержденными в установленном порядке таксами и методиками исчисления размера вреда окружающей среде, а при их отсутствии — исходя из фактических затрат на восстановление нарушенного состояния окружающей среды, с учетом понесенных убытков, в том числе упущенной выгоды. Согласно статье 78 Федерального закона «Об охране окружающей среды» определение размера вреда окружающей среде, причиненного нарушением законодательства в области охраны окружающей среды, осуществляется исходя из фактических затрат на восстановление нарушенного состояния окружающей среды, с учетом понесенных убытков, в том числе упущенной выгоды, а также в соответствии с проектами рекультивационных и иных восстановительных работ; при их отсутствии — в соответствии с таксами и методиками исчисления размера вреда окружающей среде, утвержденными органами исполнительной власти, осуществляющими государственное управление в области охраны окружающей среды [Федеральный, 2011].

К числу неурегулированных проблем оценки экологического вреда относятся игнорирование или не вполне корректный учет последствий хозяйственной деятельности для воспроизводственного потенциала объектов животного и растительного мира и выполнения ими биогеохимических функций в биосфере (климатических, почвообразующих, утилизация отходов, и т.д.), а также рекреационной и культурологической ценности. Обычно учитывается лишь вред, наносимый в момент воздействия, не пролонгированный на период самовосстановления экосистем [Экономика, 2002]. Это может приводить как к занижению компонента экологического вреда, в случае необратимых изменений, так и к его переоценке в случае восстановления нормального функционирования экосистемы.

Другим недостатком является недостаточная гармонизация российских нормативно-методических документов с международной практикой оценки ущерба объектам окружающей среды по таким параметрам как сохранение биоразнообразия и генетических ресурсов, влияния на климат, предотвращение наводнений, обеспечение круговорота углерода и других биогенных элементов в биосфере, и т.п.

К настоящему времени в российской экологической нормативно-правовой базе отсутствует унифицированный нормативно-методический документ, формулирующий процедуру и механизм расчета ущерба от вреда, наносимого объектам живой природы и их ресурсам хозяйственной деятельностью. Существующие методики по оценке экологического вреда в большинстве случаев имеют ведомственный характер и применимы, обычно, к узкому кругу объектов (охотничье-промысловые виды животных, рыбные ресурсы, дикорастущие лекарственные растения).

Наряду с отсутствием в РФ общего нормативно-методического документа по оценке экологического вреда отсутствуют нормативно-методические разработки по оценке вреда от экологических рисков, обусловленных радиоактивным загрязнением окружающей среды. Это затрудняет оценку и прогнозирование радиационно-экологического воздействия ЯРОО, сопоставление этого воздействия с другими нерадиационными факторами техногенного воздействия.

Также не оцениваются и некоторые другие факторы экологического воздействия, например, такие как изменение гидрометеорологического режима, тепловое загрязнение окружающей среды, эвтрофирование водных объектов и др.

Еще одной проблемой в рассматриваемой области является необходимость повышения объективности оценок экологического ущерба и вреда, унификация стоимостного эквивалента, который мог бы использоваться для расчета ущерба от вреда различным типам экосистем и их функциям. В настоящее время для оценки ущерба употребляются следующие ценовые величины: таксы в возмещение ущерба природным ресурсам, уровень штрафных санкций, коммерческие цены на ресурс, уровень минимальной оплаты труда, затраты на восстановление нарушенных экосистем или стоимость сохранения и восстановления популяций растений и животных, их местообитаний, запасов биоресурса [Экономика, 2002]. Отметим, что такой показатель как размер минимальной оплаты труда, удобный для использования в условиях инфляции, и поэтому применяемый для оценок ряда последствий радиоактивного загрязнения [Крупные, 2001], реально не связан с оценкой фактического экологического ущерба от вреда объектам окружающей среды.

Технической проблемой является отсутствие ценовых оценок ущерба от вреда для многих объектов окружающей среды, в том числе объектов животного и растительного мира. На практике это проблема, как правило, решается путем использования цены на аналогичные по экологическому и таксономическому положению виды, которые уже имеют стоимостную оценку.

### **5.3.3 Оценка ущерба от вреда, обусловленного радиационным воздействием на окружающую среду**

Практика оценки ущерба от возможного вреда, обусловленного радиационным воздействием, крайне скудна. В настоящее время оценка ущерба проводится на основе методов, изложенных в нормативно-методических документах [Методика, 2000; Методика, 2008; Методика, 2011; Об исчислении, 2007; Таксы, 2011]. Для исчисления вреда рекомендуется использовать установленную таксу, в том числе за ущерб, причиненный уничтожением объектов животного и растительного мира. Консервативно полагается, что при превышении экологически безопасной мощности дозы хронического облучения представительных объектов биоты, отмечается гибель части рассматриваемых организмов, т.е. возможный ущерб от радиационного воздействия консервативно оценивается как уже состоявшийся. В этом случае детально анализируется радиоэкологическая ситуация на участках возможного радиоактивного загрязнения не только для рассмотренных представительных объектов биоты, но и других экологически значимых видов флоры и фауны, подверженных повышенному радиационному воздействию, и оцениваются вред и ущерб.

Рассмотрим кратко действующие документы.

Методика оценки вреда и исчисления размера ущерба от уничтожения объектов животного мира и нарушения среды их обитания была разработана в Госкомэкологии [Методика, 2000]. Целями методики являются определение порядка оценки вреда от уничтожения объектов

животного мира и/или нарушения их среды обитания при различных видах антропогенных воздействий; исчисление размера ущерба от вреда, нанесенного объектам животного мира и/или их среде обитания при ведении хозяйственной и иной деятельности; исчисление размера ущерба от вреда объектам животного мира и/или их среде обитания при исследованиях по оценке воздействия на окружающую среду намечаемой хозяйственной и иной деятельности. Под воздействием в данной методике понимаются любые формы антропогенных воздействий, в том числе хозяйственной и иной деятельности, на объекты животного мира и/или их среду обитания. Таким образом, эта методика потенциально может быть использована для оценки возможного вреда от воздействия ЯРОО на объекты животного мира.

В соответствии с данной методикой общий ущерб организмам животного мира от воздействия включает прямые потери от гибели организмов и косвенные потери – неполученный потенциальный доход от использования объектов животного мира в размере допустимого к изъятию годового прироста их численности за весь период воздействия (применяется только при расчете ущерба от уничтожения объектов животного мира, вовлеченных в хозяйственный оборот).

Территория воздействия – территория, на которой осуществлялось или будет осуществляться воздействие, а также сопредельная территория, на которой сказывается это воздействие. Временной период воздействия – период, в течение которого осуществляется воздействие на объекты животного мира и/или их среду обитания, и сказываются последствия этого воздействия.

Вред объектам животного мира рассчитывается в натуральной форме (количество особей) как величина сокращения базовой численности и годовой продуктивности объектов животного мира, а также как изменение структуры биологического разнообразия.

В случае отсутствия фактических данных выполняются расчетные оценки вреда от потенциального воздействия ЯРОО на основе экологических моделей. В соответствии с постулатом порогового действия ионизирующего излучения на организмы биоты оценка вреда радиационного воздействия проводится в случае превышения экологически безопасного уровня мощности дозы облучения организмов животного мира ( $P_{ж} = 0,001$  Гр/сут) [ICRP, 2008; UNSCEAR, 2011; US DOE, 2002]. При этом исчисление ущерба от вреда проводится для каждого референтного объекта животного мира, для которого превышает экологически безопасный уровень облучения, допускается расчет для групп близких (экологически или систематически) видов.

Исчисление ущерба от вреда объектам животного мира и/или их среде обитания осуществляется путем исчисления величины материальных, трудовых и финансовых затрат, которые понесет общество для восполнения потерь животного мира в каждом конкретном случае, а также упущенной выгоды.

Исходными показателями для оценки вреда объектам животного мира является численность и продуктивность основных видов и групп животных (позвоночные) или соответствующие показатели биомассы (беспозвоночные).

Для исчисления ущерба рекомендуется использовать показатели стоимости объектов животного мира, таксы для исчисления размера взыскания за ущерб, причиненный незаконным добыванием или уничтожением объектов животного и растительного мира или таксы, утвержденные в соответствии с установленном законодательством Российской Федерации порядке.

Повышение численности ряда объектов животного мира при некоторых формах антропогенных воздействий (например, воздействия сбросного тепла) рассматривается в методике как положительный экологический эффект. При исчислении ущерба положительный экологический эффект не учитывается, поскольку консервативно допускается, что он не компенсирует вред, нанесенный этим воздействием, другим объектам животного мира. Также рост одних популяций не рассматривается в качестве негативного фактора, действующего на численность других популяций.



Вред объектам животного мира определяется для каждого референтного вида (группы близких видов) животных, для оцениваемого фактора антропогенного воздействия, на площади территории воздействия суммарными потерями их базовой численности (биомассы) – единовременно, и годовой продуктивности – за весь период воздействия.

При оценке вреда объектам животного мира и/или их среде обитания от антропогенного воздействия численность (или плотность населения) объектов животного мира, обитающих на территории воздействия, определяется по фактическому состоянию на момент оценки стандартными процедурами и методами учета, включая использование данных полевых обследований, региональных кадастров животного мира. Количество объектов животного мира, которое останется на оцениваемой территории после воздействия определяется в порядке, установленном данной методикой или по численности объектов животного мира на эталонных территориях-аналогах, подвергшихся такому же воздействию.

В общем случае оценка вреда включает следующие этапы:

- выявляются характеристики и масштаб фактического или намечаемого воздействия, устанавливается территория его влияния (территория воздействия), степень трансформации среды обитания животных. Проводится зонирование территории по степени разрушения местообитаний;
- на территории воздействия определяется видовой состав, исходная или фактическая численность объектов животного мира, а также их годовая продуктивность. Проводится деление объектов животного мира на основные систематические и экологические группы;
- осуществляется сбор информации экономического характера: данные о ценах на объекты животного мира, наличие редких видов животных, данные о затратах на проведение воспроизводственных работ;
- исчисляется ущерб от вреда объектам животного мира и/или их среде обитания по ниже приведенным формулам (5.1), (5.2) по каждой группе референтных объектов животного мира на территории воздействия.

Оценка вреда производится по формуле:

$$D_n = S \cdot \sum_{i=1}^n (N_0 - N_1) + [(P_0 - P_1) \cdot T] \quad \text{где} \quad (5.1)$$

$D_n$  – вред объектам животного мира, для которых превышает безопасный уровень облучения, рассчитанный на площадь территории воздействия ( $S$ );

$N_0$  – базовая численность объектов животного мира до воздействия (особи/га);

$N_1$  – базовая численность объектов животного мира, сохранившихся на территории после воздействия (особи/га);

$P_0$  – годовая продуктивность объектов животного мира до начала воздействия (особи/га);

$P_1$  – годовая продуктивность объектов животного мира, сохранившихся на территории после воздействия (особи/га);

$T$  – продолжительность периода воздействия (лет);

$S$  – площадь территории воздействия, на которой оценивается вред (га).

Возможен расчет для групп (экологических или систематических) близких видов. Полученные показатели вреда по всем местообитаниям и представительным видам (группам видов) объектов животного мира суммируются.

Экономический ущерб от вреда объектам животного мира, для которых превышает безопасный уровень облучения, рассчитывается по формуле:

$$D_i = S \{ (N_{i0} - N_{i1}) + [(P_{i0} - P_{i1}) \cdot T] \} \cdot H_i, \quad \text{где} \quad (5.2)$$

$D_i$  – ущерб от вреда конкретному виду объектов животного мира на территории воздействия, рубли;

$N_{i0}$  – базовая численность объектов животного мира эталонной территории (особи/га);

$N_{i1}$  – базовая численность объектов животного мира, сохранившихся на территории воздействия (особи/га);

$P_{i0}$  – годовая продуктивность объектов животного мира эталонной территории (особи/га);

$P_{i1}$  – годовая продуктивность объектов животного мира, сохранившихся на территории воздействия (особи/га);

$H_i$  – такса взыскания за ущерб данному виду или группе видов объектов животного мира (руб./особь).

Исчисление итогового ущерба от вреда объектам животного мира, для которых превышает безопасный уровень облучения, на территории воздействия за весь период воздействия определяется суммированием размера ущерба от вреда, исчисленного для каждого такого вида (группы видов) объектов животного мира.

Потери биологического разнообразия сообществ животных, как одна из характеристик вреда объекта животного мира и/или их среде обитания от совершенной или намечаемой хозяйственной или иной деятельности, оцениваются путем сравнения биологического разнообразия животного мира до начала воздействия и на каждой из стадий периода воздействия [Методика, 2000].

В 2008 г. Министерством природных ресурсов РФ была разработана методика исчисления размера вреда, причиненного объектам животного мира, занесенным в Красную книгу Российской Федерации, а также иным объектам животного мира, не относящимся к объектам охоты и рыболовства и среде их обитания [Методика, 2008].

В соответствии с этой методикой исчисление размера вреда, причиненного объектам животного мира, занесенным в Красную книгу Российской Федерации, а также иным объектам животного мира, не относящимся к объектам охоты и рыболовства, и среде их обитания производится с учетом следующих составляющих возможного вреда для биоты:

- уничтожение почвенных беспозвоночных животных при уничтожении почвы внутри зоны воздействия;
- уничтожения иных видов беспозвоночных животных при уничтожении их местообитаний внутри зоны воздействия;
- уничтожения особей животных вследствие уничтожения их местообитаний, а также антропогенного повреждения;
- уничтожения яиц птиц или рептилий, икры рыб и амфибий вследствие уничтожения их местообитания и антропогенного воздействия.

При уничтожении объектов животного мира вследствие потенциального воздействия ЯРОО исчисление размера вреда производится по формуле:

$$B_{о.ж.м} = N \cdot НС \cdot K_{ит}, \quad \text{где} \quad (5.3)$$

$B_{о.ж.м}$  – размер вреда, причиненного объектам животного мира, руб.;

$N$  – количество уничтоженных особей (экземпляров) одного вида, экз.;

НС – норматив стоимости объекта животного мира данного вида, определенный в соответствии с методикой [Методика, 2008], руб./экз.;

$K_{ит}$  – показатель, учитывающий инфляцию, равный

$$K_{ит} = K_{ит-1} \cdot (1 + УИ/100), \text{ где} \quad (5.4)$$

УИ – уровень инфляции, установленный в Федеральном законе Российской Федерации о бюджете Российской Федерации на год исчисления размера вреда (t) по отношению к предыдущему году (t-1).

В расчетах применяется максимальная величина, если приведены два значения уровня инфляции; если указано, что уровень инфляции не превышает определенную величину, в расчетах принимается указанная величина. Для первого года расчета  $K_{ит} = 1$ .

При уничтожении вследствие воздействия ЯРОО кладок яиц птицы или рептилии размер вреда исчисляется в пятикратном размере по отношению к размеру вреда от уничтожения одной особи данного вида. При уничтожении кладок икры амфибии размер вреда исчисляется в десятикратном размере по отношению к размеру вреда от уничтожения либо незаконного добывания одной особи данного вида.

Исчисление размера вреда от уничтожения объектов животного мира, относящихся к почвенным беспозвоночным животным, производится в составе исчисления размера вреда от уничтожения почвы (подстилки).

Исчисление размера вреда от уничтожения других объектов животного мира, относящихся к беспозвоночным животным, производится в составе исчисления размера вреда от уничтожения их местообитаний.

В случае если вред причинен нескольким видам объектов животного мира, размер вреда исчисляется по формуле:

$$B_{ж} = \sum_{i=1}^N B_{ожми} \quad , \quad \text{где} \quad (5.5)$$

$B_{ж}$  – общий размер вреда, причиненного нескольким видам объектов животного мира, руб.;

$B_{ожми}$  – размер вреда, причиненного объектам животного мира i-го вида,  $i = 1, 2, \dots N$ , руб.;

$N$  – общее число видов объектов животного мира, руб.

При уничтожении либо запечатывании почвы (подстилки) и иных местообитаний объектов животного мира, относящихся к беспозвоночным животным, размер вреда исчисляется исходя из затрат, которые необходимо произвести для замены почвенного слоя растительным грунтом по формуле:

$$B_{почв} = Z_{кр} \cdot V + НС_{пб} \cdot S \cdot K_{ит} + НС_{иг} \cdot S \cdot K_{ит}, \text{ где} \quad (5.6)$$

$B_{почв}$  – размер вреда, причиненного среде обитания объектов животного мира, руб.;

$Z_{кр}$  – затраты на выполнение комплекса работ, связанных с приобретением, транспортировкой и размещением растительного грунта, по замене уничтоженной либо запечатанной почвы (подстилки) и иных местообитаний, руб./м<sup>3</sup>;

$V$  – объем уничтоженной либо запечатанной почвы (подстилки), м<sup>3</sup>;

$НС_{пб}$  – норматив стоимости почвенных беспозвоночных животных, обитающих на 1м<sup>2</sup> земельного участка, определенный в соответствии с методикой [Методика, 2008], руб./м<sup>2</sup>;

$S$  – площадь земельного участка, на котором уничтожены либо запечатаны почва (подстилка) и иные местообитания беспозвоночных животных,  $m^2$ ;

$HC_{\text{иб}}$  – норматив стоимости объектов животного мира, относящихся к иным беспозвоночным животным, в соответствии с методикой [Методика, МПР, 2008], руб./экз.

При разрушении обитаемых либо регулярно используемых гнезд, нор, логовищ, убежищ, жилищ и других сооружений объектов животного мира, относящихся к позвоночным животным, используемых для воспроизводства (размножения), размер вреда исчисляется по формуле:

$$V_{\text{гн}} = K_{\text{воспр}} \cdot HC_{\text{м}} \cdot K_{\text{ит}} + 3B, \text{ где} \quad (5.7)$$

$V_{\text{гн}}$  – размер вреда, причиненного разрушением гнезд, нор, логовищ, убежищ, жилищ позвоночных животных, руб.;

$K_{\text{воспр}}$  – коэффициент воспроизводства:

$K_{\text{воспр}} = 10$  – для земноводных и пресмыкающихся;

$K_{\text{воспр}} = 5$  – для птиц и млекопитающих;

$HC_{\text{м}}$  – норматив стоимости объекта животного мира, относящегося к позвоночным животным, определенный в соответствии с методикой [Методика, 2008], руб./экз.;

$3B$  – затраты на восстановление (проведение биотехнических мероприятий или создание искусственного аналога) используемого гнезда, норы, логовища, убежища и (или) другого сооружения, используемого для воспроизводства (размножения), руб.

При устранимом повреждении среды обитания объектов животного мира, кроме почвенных беспозвоночных и иных видов беспозвоночных животных, приводящем к сокращению их численности, размер вреда исчисляется по формуле:

$$V_{\text{пс}} = 3Y + N_{\text{сч}} \cdot HC \cdot K_{\text{ит}} + 3O \quad \text{где} \quad (5.8)$$

$V_{\text{пс}}$  – размер вреда, исчисляемый при устранимом повреждении среды обитания объектов животного мира, кроме почвенных беспозвоночных и иных видов беспозвоночных животных, руб.;

$3Y$  – затраты на устранение повреждения среды обитания объектов животного мира, кроме почвенных беспозвоночных и иных видов беспозвоночных животных, исчисляются на основе данных о стоимости основных видов работ и (или) на основании данных о необходимых и фактически произведенных расходах, руб.;

$N_{\text{сч}}$  – сокращение численности объектов животного мира одного вида, кроме почвенных беспозвоночных и иных видов беспозвоночных животных, включая полную потерю численности, экз.;

$HC$  – норматив стоимости объекта животного мира, кроме почвенных беспозвоночных и иных видов беспозвоночных животных, определенный в соответствии с методикой [Методика, 2008], руб./экз.;

$3O$  – затраты, необходимые для оценки вреда, исчисляются на основе данных о стоимости основных видов работ и (или) на основании данных о необходимых и фактически произведенных расходах, руб.

При уничтожении среды обитания объектов животного мира, кроме почвенных беспозвоночных и иных видов беспозвоночных животных, приводящему к сокращению их численности, размер вреда исчисляется по формуле:

$$V_{yc} = N_{сч} \cdot HC \cdot K_{ит} \cdot K_{бп} + ZO, \quad \text{где} \quad (5.9)$$

$V_{yc}$  – размер вреда, причиненный уничтожением среды обитания объектов животного мира, кроме почвенных беспозвоночных и иных видов беспозвоночных животных, руб.;

$N_{сч}$  – сокращение численности объектов животного мира одного вида, кроме почвенных беспозвоночных и иных видов беспозвоночных животных, включая полную потерю численности, экз.;

$HC$  – норматив стоимости объекта животного мира данного вида, определенный в соответствии с методикой [Методика, 2008], руб./экз.;

$ZO$  – затраты, необходимые для оценки вреда, исчисляются на основе данных о стоимости основных видов работ и (или) на основании данных о необходимых и фактически произведенных расходах, руб.;

$K_{бп}$  – коэффициент учета стоимости будущих поколений животных, б/размерный:

$K_{бп} = 10$  – для объектов животного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации;

$K_{бп} = 1$  – для остальных объектов животного мира.

В случае если причинен вред среде обитания нескольких видов объектов животного мира, исчисление размера вреда производится по соотношению:

$$V_{ср} = \sum_{j=1}^M V_{срj} \quad , \quad \text{где} \quad (5.10)$$

$V_{ср}$  – общий размер вреда, причиненный среде обитания нескольких видов объектов животного мира, руб.;

$V_{срj}$  – вред, причиненный среде обитания j-го вида объекта животного мира, j=1,2, ...M, руб.;

$M$  – общее число видов объектов животного мира, среде обитания которых причинен вред.

В соответствии с Федеральным Законом от 20.12.2004 г. № 166-ФЗ (О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов, ст.53) возмещение вреда, причиненного водным биоресурсам, осуществляется в соответствии с утвержденными в установленном порядке таксами и методиками исчисления размера причиненного водным биоресурсам вреда, а при отсутствии их исходя из затрат на восстановление водных биоресурсов [Федеральный, 2004].

Исчисление размера вреда, причиненного водным биологическим ресурсам производится по методике Росрыболовства [Методика, 2011]. Таксы размера взыскания за ущерб, причиненный уничтожением водных биологических ресурсов приведены в Постановлении Правительства РФ от 25.05.1994 г. № 515 (1994), в ред. Постановлений Правительства РФ от 26.09.2000 г. № 724, от 10.03.2009 г. № 219.

Размер ущерба от вреда, причиненного лесам, определяется в соответствии с таксами, утвержденными Постановлением правительства РФ от 26.11.2007 г. № 806 [Постановление, 2007]. Размер ущерба, исчисленный в соответствии с таксами, увеличивается в два раза, если повреждение совершено в защитных лесах (за исключением особо охраняемых природных территорий) и на особо защитных участках эксплуатационных лесов; в 3 раза, если нарушение лесного законодательства совершено на особо защитных участках защитных лесов (за исключением особо охраняемых природных территорий); в 5 раз, если нарушение лесного законодательства совершено на особо охраняемых природных территориях; в 10 раз, если происходит повреждение пищевых лесных ресурсов или лекарственных растений, виды которых занесены в Красную книгу Российской Федерации и (или) Красные книги субъектов Российской Федерации; увеличивается в 2 раза в случае уничтожения или повреждения деревьев и кустарников хвойных пород, осуществляемых в декабре - январе.

Размер ущерба, причиненного деревьям (кустарникам), заготовка древесины которых не допускается, исчисляется как произведение установленных такс и объемов древесины (количества) поврежденных деревьев (кустарников).

При исчислении размера ущерба, причиненного не отнесенным к лесным насаждениям деревьям, кустарникам и лианам, применяются цены и нормативы затрат, которые непосредственно связаны с выращиванием деревьев, кустарников и лиан, а также с уходом за ними до возраста уничтоженных или поврежденных.

Оценка размера ущерба от вреда, причиненного объектам растительного мира, занесенным в Красную книгу Российской Федерации, осуществляется в соответствии с таксами, утвержденными Приказом Минприроды России от 1 августа 2011 г. № 658 [Таксы, 2011].

Для радиационного воздействия ЯРОО размер ущерба от вреда, причиненного лесам, в том числе лесным насаждениям, или не отнесенным к лесным насаждениям деревьям, кустарникам и лианам, а также другим объектам растительного мира, исчисляется путем суммирования размеров ущерба от вреда референтным объектам растительного мира, для которых были превышены экологически безопасные уровни мощности дозы облучения – 0,01 Гр/сут (для сосны 0,001 Гр/сут) [ICRP, 2009; UNSCEAR, 2011; US DOE, 2002; Рекомендации, 2015]. В Приложении 5 приведен пример расчета ущерба от нанесенного вреда биоте в зоне отчуждения ЯРОО.

Рассмотренная выше методология оценки ущерба от радиационного воздействия на окружающую среду может быть использована при обосновании отнесения радиоактивных отходов к особым РАО [Линге и др., 2013], а также планировании природоохранных мероприятий при обращении с радиоактивными отходами. Кроме того, оценка радиационного ущерба актуальна для определения воздействия на окружающую среду при планировании, строительстве, эксплуатации и снятии с эксплуатации объектов использования атомной энергии, с учетом необходимости соблюдения в соответствии с законодательством условий сохранения благоприятной окружающей среды, достаточных для устойчивого функционирования естественных экологических систем, природных и природно-антропогенных объектов, а также сохранения биологического разнообразия. Необходимость оценки ущерба возникает также при реабилитации территорий подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате прошлой деятельности или радиационных аварий. Для практической реализации методологии в этих случаях потребуется разработка экологических критериев и экономических показателей допустимого радиационного воздействия на объекты окружающей среды, экологических нормативов содержания радиоактивных веществ в компонентах природной среды обеспечивающих безопасность человека и биосферы, и других нормативно-методических документов [Крышев и др., 2014].

#### **5.4 Основные международные, отраслевые и национальные отчетные документы по состоянию радиационного воздействия на человека и окружающую среду вреда от радиационного воздействия на окружающую среду**

Наиболее авторитетным источником научной информации о действии ионизирующего излучения на организм человека и окружающую среду, а также по характеристике всех возможных источников радиации является Научный комитет ООН по действию атомной радиации (НКДАР ООН).

8 декабря 1953 г. президент США Д. Эйзенхауэр произнес перед Генеральной ассамблеей ООН речь, в которой содержались два конкретных предложения. Первое предложение — созвать международную конференцию по мирному использованию атомной энергии (она состоялась в августе 1955 г. в Женеве). Второе предложение — организовать под эгидой ООН Международное

агентство по атомной энергии (29 июля 1957 году в соответствии с решением Генеральной Ассамблеи ООН было образовано МАГАТЭ).

На первой международной конференции по мирному использованию атомной энергии было опубликовано огромное число технических сведений, касающихся развития атомной энергетики. Организация Объединенных Наций по материалам этой конференции опубликовала серию в 16 томов. Вопросам ядерных испытаний уделялось в этот период первостепенное значение.

Научный комитет ООН был учрежден в соответствии с резолюцией Генеральной Ассамблеи Организации Объединенных Наций 913(X) 3 декабря 1955 года с целью организации сбора и оценки информации о воздействии радиоактивного излучения на организм человека и окружающую среду.

Первоначально в состав НКДАР входили 15 государств-членов ООН: Аргентина, Австралия, Бельгия, Бразилия, Великобритания, Египет, Индия, Канада, Мексика, СССР, США, Франция, Чехословакия, Швеция и Япония. Впоследствии состав НКДАР расширился трижды – в 1973 (членами НКДАР стали Германия, Индонезия, Перу, Польша и Судан), 1986 (Китай) и 2011 годах (Беларусь, Испания, Пакистан, Украина, Финляндия, Южная Корея). Таким образом, в настоящее время в состав Комитета входит 27 государств.

Научный комитет ООН по действию атомной радиации собирает всю доступную информацию об источниках радиации и воздействии ионизирующего излучения на человека и окружающую среду и анализирует ее. Он изучает широкий спектр естественных и созданных искусственно источников радиации. С момента своего создания, НКДАР ООН выпустил 25 крупных публикаций.

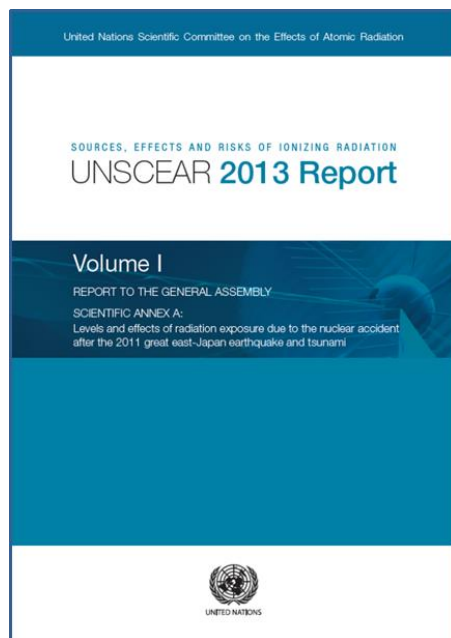
Уже в первом своем докладе НКДАР ООН 1955 г. было признано, что медицинские диагностические и терапевтические воздействия были основным компонентом искусственного облучения в глобальном масштабе, и этот вывод остается верным и сегодня.

С 1996 г. в сферу интересов этого международного органа вошла радиационная защита окружающей среды [UNSCEAR, 1996].

Последний доклад НКДАР ООН 2013 г. состоит из двух томов: том I посвящен последствиям аварии на японской АЭС «Фукусима-Дайичи», а второй том — эффектам действия радиации на детей. В подготовке материалов докладов НКДАР ООН активное участие принимают и российские ученые. Все доклады находятся в свободном доступе на сайте UNSCEAR: <http://www.unscear.org/unscear/en/publications.html>.

В СССР обобщающая информация о радиоактивном загрязнении объектов окружающей среды и о радиационном воздействии на человека была доступна исключительно для специалистов, хотя научные публикации о действии радиации на живые организмы, как и во всем мире, начались сразу же после открытия Рентгеном X-лучей в 1896 г. Кстати, и первая в мире монография по радиобиологии, обобщающая накопившиеся к тому времени данные о биологических и медицинских эффектах излучения радия, была написана по заказу Лейпцигского издательства русским ученым, работавшим в С.-Петербурге, Е.С. Лондоном, — она вышла в свет в 1911 г. на немецком языке [London, 1911].

Изучение глобального радиоактивного загрязнения объектов природной среды продуктами ядерных взрывов и научно-методическое обеспечение работ было в СССР сосредоточено на



Обнинском полигоне Института прикладной геофизики АН СССР (ныне НПО «Гайфун»). Именно там начала создаваться система сбора, обработки и обобщения информации о радиационной обстановке на территории страны с выпуском ежегодников [Махонько и Ким, 2002]. Первый такой ежегодник в открытой печати вышел в 1991 г. [Радиационная, 1991]. Ретроспектива техногенного радиоактивного загрязнения объектов природной среды в 20-м веке на территории СССР и России была выполнена сотрудниками НПО «Гайфун» [Махонько и др., 2001].

С 1992 г. началась ежегодная публикация Ежегодников Росгидромета по радиационной обстановке на территории России и сопредельных государств [Радиационная, 1992]. В Ежегодниках приводятся в обобщенном виде и анализируются данные наблюдений на территории Российской Федерации и некоторых сопредельных государств за содержанием техногенных радионуклидов в воздухе и атмосферных выпадениях (потоке радиоактивных продуктов из атмосферы на поверхность земли), почвенно-растительном покрове, поверхностных пресных и морских водах, а также наблюдений за уровнем гамма-излучения на местности (мощностью экспозиционной дозы). Ежегодники за последние 10 лет выложены в сеть Интернета. Полнота информации из года в год растет. В последнем таком ежегоднике [Радиационная, 2015] информация изложена на 350 страницах, где наряду с фактическими данными приводятся и важные результаты исследований по механизмам миграции в отдельных локальных точках.

В 1993 году был опубликован Государственный доклад о состоянии окружающей среды Российской Федерации в 1992 году [Государственный, 1993]. Вопросам радиации (загрязнение воздуха, территорий и водных систем, а также радиоактивным отходам) в этом докладе уделено 5 страниц. В последующем полнота описания радиационных параметров в годовых докладах была существенно различной, но в каждом выпуске были приведены данные по наиболее загрязненным объектам, выборочные данные по некоторым предприятиям атомной отрасли. В Гос. докладе не затрагивается тема радиационного воздействия на человека и биоту. Доклад дает представление о воздействии на окружающую среду химических веществ, проводится ранжирование всех субъектов РФ по разным видам воздействия на ОС (сбросы, выбросы, отходы и т. д.) химических веществ. С 2012 г. раздел по радиационной обстановке заметно сократился [Государственный, 2013].

В рамках федеральных целевых программ, среди которых федеральные целевые программы «Развитие атомного энергопромышленного комплекса России на 2007-2010 годы и на перспективу до 2015 года» и «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 и на период до 2015 года», Росатом поставил перед собою амбициозную задачу: готовить годовые отчеты по безопасности на уровне лучших мировых практик. Начиная с 2001 г. начался выпуск ежегодных отчетов по безопасности. В апреле 2005 года приказом Руководителя ФААЭ № 170 от 05.04.2005 г. утверждена новая редакция основополагающего документа — «Основ экологической политики Минатома России», — «Основы экологической политики Росатома». С принятием этого документа атомная отрасль взяла на себя добровольные обязательства в области охраны окружающей среды и устойчивого развития при использовании атомной энергии в мирных и оборонных целях, как в настоящее время, так и на долгосрочную перспективу.

К 2015 году Росатом подготовил 14 годовых отчетов, в которых освещаются такие вопросы, как обеспечение ядерной и радиационной безопасности на всех действующих объектах Росатома; безопасность обращения с ядерными материалами, радиоактивными веществами и радиоактивными отходами; обеспечение безопасности при выводе их эксплуатации объектов использования атомной энергии и при транспортировках радиоактивных материалов.

В отчетах дается подробная радиационная-гигиеническая информация на предприятиях, а также цифровой материал по реализации предприятиями Росатома экологической политики в области охраны окружающей среды. Ежегодные отчеты по безопасности, начиная с 2005 г. можно найти в открытом доступе на сайте Росатома: [http://www.rosatom.ru/aboutcorporation/activity/safety/safety\\_reports/](http://www.rosatom.ru/aboutcorporation/activity/safety/safety_reports/).



На этом же сайте выложены и Национальные доклады Российской Федерации о выполнении обязательств, вытекающих из Конвенции о ядерной безопасности.

Во второй главе были рассмотрены основные национальные документы, имеющие отношения к системе оценки дозовых нагрузок на человека. Там же было отмечено, что аналогичная система по оценкам дозовых нагрузок на референтных представителей биоты только начинает складываться в нашей стране. Работы по Государственному контракту Росатома в этом отношении стали пионерскими. Пилотные расчеты, подготовка методических и нормативных документов, выполненные в рамках этого контракта, стали основой для запуска системы оценки доз на биоту. Насколько она будет успешной сегодня говорить преждевременно. С одной стороны движение западных радиоэкологов в направлении практической защиты биоты и подтверждения защищенности объектов внешней среды при использовании источников ионизирующей радиации, поддерживается группой отечественных ученых, с другой, как мы уже отмечали, реальной и научно обоснованной необходимостью при существующей регламентации в области радиационной безопасности, в этом нет. И это важно подчеркнуть. В научном и методическом плане должны вестись работы, поскольку при продвижении атомных технологий на международный рынок, мы можем столкнуться с необходимостью следовать западным стандартам безопасности. А подтверждение защищенности биоты требует наличия серьезной фундаментальной основы и разработанным на ее базе инструментарием анализа степени воздействия. Кроме того, необходимо принятие целого пакета нормативных актов в практической области охраны природы.

### **Выводы и практические рекомендации**

1. Адекватная оценка антропогенного (и природного) риска должна обеспечивать управленческую стратегию устойчивого развития. Анализ риска представляет собой многоступенчатый аналитический процесс, состоящий из основных этапов: характеристики риска, анализа риска и его оценки, а также информации населения о риске, восприятия риска, определения приемлемых уровней риска, управления риском и оценки эффективности системы контроля.
2. В мировой практике сложились две основные процедуры для прогнозирования, оценки и экологических последствий намечаемой хозяйственной деятельности — оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) и оценка экологического риска (ОЭР), которые в настоящее время дополняют друг друга.
3. Необходимой составляющей для разработки стратегических управленческих решений является оценка экологического ущерба от прошлой или планируемой деятельности.
4. К числу неурегулированных проблем оценки экологического вреда относятся игнорирование или не вполне корректный учет последствий хозяйственной деятельности для воспроизводственного потенциала объектов животного и растительного мира и выполнения ими биогеохимических функций в биосфере (климатических, почвообразующих, утилизация отходов, и т.д.), а также рекреационной и культурологической ценности. Обычно учитывается лишь вред, наносимый в момент воздействия, не пролонгированный на период самовосстановления экосистем, что может приводить как к занижению компоненты экологического вреда, в случае необратимых изменений, так и к его переоценке в случае восстановления нормального функционирования экосистемы.
5. К настоящему времени в российской экологической нормативно-правовой базе отсутствует унифицированный нормативно-методический документ, формулирующий процедуру и механизм расчета ущерба от вреда, наносимого объектам живой природы и их ресурсам хозяйственной деятельностью. Существующие методики по оценке экологического вреда в большинстве случаев имеют ведомственный характер и применимы, обычно, к узкому кругу объектов (охотничье-промысловые виды животных, рыбные ресурсы, дикорастущие лекарственные растения).

6. Разработана методология оценки ущерба от радиационного воздействия на окружающую среду, которая может быть использована при обосновании отнесения радиоактивных отходов к особым РАО, а также при планировании природоохранных мероприятий при обращении с радиоактивными отходами.

### **Список использованных источников**

- 1 Andrews R.N.L. Environmental impact assessment and risk assessment: learning from each other. In: Environmental impact assessment: theory and practice. P. Wathern – ed. London: Unwin Hyman. 1990, p. 85-97.
- 2 Arguiaga M.C., Canter L.W., Nelson D.I. Integration of health impact considerations in environmental impact studies // Impact assessment. 1994. Vol.12, N 2, p.175-193.
- 3 Canter L.W. Environmental impact assessment. 2nd edition. New York: McGraw-Hill, 1996.
- 4 Canter L.W., Environmental impact assessment: current status and future directions. Excerpt from: Proceedings of a symposium on EIA, April 10-17, 1983, Hania, Crete, Greece held by CEMP.
- 5 EC (European Commission) 1996. Technical Guidance Document in Support of: Commission Directive 93/67/EEC on Risk Assessment for New Notified Substances and Commission Regulation No 1488/94 on Risk Assessment for Existing Substances.
- 6 Environment Canada 1997 Environmental assessments of the priority substances under the Canadian environmental protection act Guidance manual Version 1.0 (Canada: Chemicals Evaluation Division, Commercial Chemicals Evaluation Branch, Environment Canada) EPS 2/CC/3E.
- 7 Foster R.F., Davis J.J. The accumulation of radioactive substances in aquatic forms. In Proceedings of the international conference on the peaceful uses of atomic energy (Held in Geneva, August 8-20, 1955.). – New York: United Nations, 1956. – Vol. 13. – P. 364 - 367.
- 8 Herde K.E. Studies in the Accumulation of Radioactive Elements in *Oncorhynchus tshawytscha*, Chinook Salmon, Exposed to a Medium of Pile Effluent. HW 1-5064, Hanford Works, Richland. – Washington, 1946.
- 9 IAEA Safety Standards Series No. GSR. Part 3. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. – Vienna, 2014. – P. 436.
- 10 ICRP 1991. Publication 60. The 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Annals of the ICRP, 1991. – Vol. 21. – P. 1 - 201.
- 11 ICRP 2003. Publication 91. A framework for assessing the impact of ionizing radiation on non-human species. Annals of the ICRP, 2003. – P.79.
- 12 ICRP 2007. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (Users Edition). ICRP Publication 103 (Users Edition). Ann. ICRP 37 (2-4).
- 13 ICRP 2008. Publication 108. Environmental Protection: the Concept and Use of Reference Animals and Plants. Annals of the ICRP, 2008. – P.251.
- 14 ICRP 2009. Publication 114. Environmental Protection: Transfer Parameters for Reference Animals and Plants. Annals of the ICRP, 2009. – P. 111.
- 15 ICRP 2014. Publication 124. Protection of the Environment under Different Exposure Situations. Annals of the ICRP, 2014. – P. 59.
- 16 Jones C., Gilek M. Overview of programmes for the assessment of risks to the environment from ionising radiation and hazardous chemicals. J. Radiol. Prot., 2004, 24, A157-A177.
- 17 London E.S. Das Radium in der Biologie und Medizin. Leipzig, 1911. — 199 p.
- 18 Nagels K. Environmental impact assessment and risk assessment: towards one procedure? // Integration of risk assessment and health impact assessment. Report of the twelfth workshop on methodology, focalization, evaluation and scope of environmental impact assessment in Reykjavik, Iceland, May 14-18, 1997.
- 19 NCRP. Effects of Ionizing Radiation on Aquatic Organisms. NCRP Report № 109. – Bethesda, Maryland, USA, 1991. – P. 115.

- 20 Parker H.M. Radiation exposure from environmental hazards. In Proceedings of the International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Held in Geneva, August 8-20, 1955. – New York: United Nations, 1956. – Vol. 13. – P. 305 – 310.
- 21 UNSCEAR. Effects of Radiation on the Environment, Annex to Sources and Effects of Ionizing Radiation (1996 Report to the General Assembly, with one Annex), Scientific Committee on the Effects of Atomic radiation. – UN, New York, 1996. – P. 86.
- 22 UNSCEAR. Effects of radiation on the environment. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volume II, Scientific Annex E. Effect of ionizing radiation on non-human biota. – United Nations, New York, 2011. – P. 164.
- 23 US DOE. A graded approach for evaluating radiation doses to aquatic and terrestrial biota. DOE-STD-1153-2002. – Washington DC, 2002. – P. 234.
- 24 US EPA (United States Environmental Protection Agency) 1992 Framework for Ecological Risk Assessment (Washington, DC: Risk Assessment Forum, USEPA).
- 25 WHO. Air Quality Guidelines for Europe. Second Edition. WHO Regional Publications, European Series, No. 91. Copenhagen, 2000. – 288 p.
- 26 Алексахин Р.М. Актуальные экологические проблемы ядерной энергетики. – Атомная энергия. 2013. – Т. 114. – Вып. 5. – С. 243 - 249.
- 27 Алексахин Р.М. Ядерная энергия и биосфера. – М: ЭнергоИздат, 1982. – С. 103.
- 28 Анненков Б.Н. К истории развития радиоэкологии и радиобиологии сельскохозяйственных животных. В сб.: XXXV радиоэкологические чтения В.М. Ключковского. Обнинск, 2007, сс. 44-61.
- 29 Башкин В.Н. Управление экологическим риском. — М.: Научный мир, 2005. 368 с.
- 30 Брундтланд Г.Х. Доклад на сессии ООН «Наше общее будущее», 1987.
- 31 Временные требования к структуре и содержанию ТЭО, проекта строительства атомной станции: оценки воздействия АС на окружающую среду. М, 1990, Утверждено: Зам. Министра атомной энергетики и промышленности СССР Е.А. Решетниковым 4.09.1990, Согласовано: Главгосэкспертиза Госкомприроды СССР Е.В. Минаевым
- 32 ГОСТ Р 14.09-2005 «Экологический менеджмент. Руководство по оценке риска в области экологического менеджмента», 2005. – 41 с.
- 33 Государственный доклад “О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2012 году”. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, 2013. -483 с.
- 34 Государственный доклад “О состоянии окружающей среды Российской Федерации в 1992 году”. Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации, Москва, 1993. -144 с.
- 35 Казаков С.В., Линге И.И. О гигиеническом и экологическом подходах в радиационной защите. // Радиационная биология. Радиоэкология, 2004. – Т. 44. – № 4. – С. 482-492.
- 36 Казаков С.В., Линге И.И. Об одной из парадигм радиационной защиты. – М.: Препринт ИБРАЭ РАН. – 2003.
- 37 Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры. //Р.М. Алексахин, Л.А. Булдаков, В.А. Губанов и др. Под общей редакцией Л.А. Ильина и В.А. Губанова. – М.: ИздАТ, 2001. – 752 с.
- 38 Крышев И.И., Курындина Л.А., Линге И.И. Оценка ущерба окружающей среде при использовании атомной энергии. Атомная энергия, 2014. – Т.117. – 12 с.
- 39 Крышев И.И., Рязанцев Е.П. Экологическая безопасность ядерно-энергетического комплекса России. – М.: ИздАТ, 2010. – 496 с.
- 40 Крышев И.И., Сазыкина Т.Г. Радиационная безопасность биосферы: научные и нормативно-методические аспекты. XLII Радиоэкологические чтения, посвященные действительному члену ВАСХНИЛ В.М. Ключковскому (3 декабря 2013 г.). – Обнинск, ГНУ ВНИИСХРАЭ, 2014. – С.31-76.

- 41 Крышев И.И., Сазыкина Т.Г. Радиационная безопасность окружающей среды: необходимость гармонизации российских и международных нормативно-методических документов с учетом требований федерального законодательства и новых международных основных норм безопасности ОНБ-2011. Радиация и риск, 2013. – Т. 22. – № 1. – С. 47-61.
- 42 Кузнецов Д.А. Разработка системы обеспечения экологической безопасности фармацевтической организации. Вестник новых медицинских технологий, 2009. – Вып. 4. – Т. 16.
- 43 Линге И.И., Савкин М.Н., Ведерникова М.В., Абалкина А.Л., Дорогов В.И., Уткин С.С., Курындина Л.А., Крышев И.И., Бочкарев В.В., Непейпиво М.А., Щадилов А.Е., Репин В.С., Мокров Ю.Г., Кочетков О.А., Барчуков В.Г. Подходы к оценке и сопоставлению доз, рисков и затрат для целей обоснования отнесения РАО к особым РАО. Препринт № IBRAE-2013-06. – М., 2013.
- 44 Махонько К.П., Ким В.М. Динамика загрязнения воздуха, почвы и воды техногенными радионуклидами на территории СССР и России в 1954 - 2000гг. Атомная энергия, 2002. – Т. 92. – Вып. 5. – С. 387-395.
- 45 Махонько К.П., Чумичев В.Б., Ким В.М. и др. Ретроспектива техногенного радиоактивного загрязнения объектов природной среды в 20-м веке на территории СССР и России. – В кн.: Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2000г. Ежегодник. Под ред. К.П.Махонько. – СПб.: Гидрометеиздат, 2001. – С. 40-56.
- 46 Методика исчисления размера вреда, причиненного водным биологическим ресурсам. – М., Росрыболовство, 2011. – 69 с.
- 47 Методика исчисления размера вреда, причиненного объектам животного мира, занесенным в Красную книгу Российской Федерации, а также иным объектам животного мира, не относящимся к объектам охоты и рыболовства и среде их обитания. – М., МПР РФ, 2008. – 21 с.
- 48 Методика исчисления размера вреда, причиненного охотничьим ресурсам. – М., Минприроды России, 2011. – 3 с.
- 49 Методика оценки вреда и исчисления размера ущерба от уничтожения объектов животного мира и нарушения среды их обитания. – М., Госкомэкологии России, 2000. – 12 с.
- 50 Методические указания. Разработка материалов оценки воздействия на окружающую среду в составе проектной и иной документации на осуществление видов деятельности в области использования атомной энергии. МУ 1.5.1.99.0097-2012.
- 51 Могилёвкин В.Б. Первые десять лет. В книге: XXXV радиоэкологические чтения, посвящённые действительному члену ВАСХНИЛ В.М. Ключковскому. – М. 2007. – 118 с.
- 52 О поведении радиоактивных продуктов деления в почвах, их поступления в растения и накоплении в урожае. Ротапринт. //Под ред. В.М. Ключковского. – М.: изд. АН СССР, 1956.
- 53 Об исчислении размера вреда, причиненного лесам вследствие нарушения Лесного законодательства. Постановление Правительства РФ от 8 мая 2007 г. № 273. – М., 2007. – 13 с.
- 54 Постановление Правительства Российской Федерации от 23 июля 2007 г. № 469 «О порядке утверждения нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей».
- 55 Приказ Госкомэкологии № 372 от 16 мая 2000 г. «Об утверждении Положения об оценке воздействия намечаемой хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду в Российской Федерации», 2000. – 5 с.
- 56 Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2014 году: Ежегодник / ФГБУ «НПО Тайфун» - Обнинск: Росгидромет, 2015. – 350 с.
- 57 Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 1991 г. Ежегодник. Под ред. К.П. Махонько. Обнинск – НПО «Тайфун», 1992. — 339 с.
- 58 Радиационная обстановка на территории СССР в 1990 г. Ежегодник. Под ред. К.П. Махонько. Обнинск – НПО «Тайфун», 1991. — 215 с.

- 59 Рекомендации по изучению радиационной обстановки вокруг атомных станций в предпусковой период (снятие нулевого фона) № 643/9-79, Утверждены: Начальником ВПО «Союзатомэнерго» В.П. Невским 20.09.1979; Председателем Госатомнадзора Б.В. Куловым 04.12.1979; Зам Министра Минздрава СССР Е.И. Воробьевым 12.12.1979.
- 60 Рекомендации Р 52.18.820-2015. Оценка радиационно-экологического воздействия на объекты природной среды по данным мониторинга радиационной обстановки (Утверждены Росгидрометом Минприроды России 17.04.2015 г.). – 64 с.
- 61 Смиранный Л.Н. Предтеча Чернобыля // Журнал «Наука и жизнь», 2003. – № 10.
- 62 Таксы для исчисления размера вреда, причиненного объектам растительного мира, занесенным в Красную книгу Российской Федерации, и среде их обитания вследствие нарушения законодательства в области охраны окружающей среды и природопользования. – М., Минприроды России, 2011. – 3 с.
- 63 Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды». Собрание законодательства Российской Федерации, 2011. – № 2. – С. 133.
- 64 Федеральный закон от 20 декабря 2004 г. N 166-ФЗ "О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов" (с изменениями и дополнениями).
- 65 Экономика сохранения биоразнообразия. – М.: Институт экономики природопользования, 2002. – 604 с.

## Глава 6 Некоторые проблемные вопросы отечественного нормирования

Оценки радиационного воздействия на человека и объекты биоты находятся в состоянии постоянного совершенствования, что связано как с лучшим пониманием природы процессов миграции веществ, а также с расширением базовой эмпирической информации по биологическим эффектам, вызванных ионизирующей радиацией. Параллельно, но с некоторым отставанием идет эволюционное изменение нормативных требований и ограничений. Последние нередко в силу различных причин не в полной мере опираются на достижения фундаментальных наук, а нередко исходят из принципа предосторожности. При этом не в полной мере учитываются экономические последствия подобного консерватизма. Как отмечалось в разделах книги помимо, безусловно, важного принципа предосторожности, необходимо при разработке нормативных требований использовать также принципы обоснования и экономической целесообразности.

Данный раздел посвящен некоторым проблемным вопросам в области практического нормирования.

1. При установлении нормативов допустимых сбросов (ДС) с некоторым содержанием радионуклидов необходимо соблюдение требований раздела 2 НП-058-04 [НП, 2004], заключающиеся в необходимости обеспечения надежной изоляции ТРО от окружающей среды. Границы отнесения отходов к ТРО определены Постановлением Правительства РФ от 19.10.2012 № 1069 [Постановление, 2012] в виде предельных значений удельной активности радионуклидов (ПЗУА).

При этом может возникнуть ситуация, когда в один водоем сбросы, содержащие радиоактивные вещества, осуществляет более чем одна организация. Традиционный способ квотирования дозовых нагрузок на население и объекты природы, по мнению Ростехнадзора, представляется недостаточно реалистичным, и они предлагают использовать при установлении ДС для отдельного предприятия более консервативный подход, а именно (раздел 3.2):

*«С целью недопущения достижения ПЗУА радионуклидов в донных отложениях для случая, когда сброс в один водный объект осуществляется несколькими организациями, а также для сохранения возможности функционирования вновь размещаемых предприятий, целесообразно принимать в качестве критерия установления нормативов ДС недопустимость превышения активности донных отложений величин удельной активности техногенных радионуклидов, при которой допускается неограниченное использование материалов (далее – УАНИ), за счет сбросов одной организации. Для техногенных радионуклидов значения УАНИ установлены в приложении 3 к ОСПОРБ-99/2010 [ОСПОРБ, 2010], а для естественных в таблице I-1 документа МАГАТЭ [30]».*

Следует отметить, что такая консервативная рекомендация, как замена ПЗУА на УАНИ (для ряда важных с точки зрения практического использования радионуклидов разница составляет 100 раз), в настоящее время не находит единого понимания у специалистов по радиационной защите. В этом вопросе необходимо найти разумный компромисс между ограничениями, накладываемыми на так называемые «естественные» радионуклиды ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$ ), на которые по разным причинам, в том числе и по объективным, накладываются более слабые ограничения, хотя они ответственны за основную дозовую нагрузку на население, и ограничениями, которые вводятся на техногенные радионуклиды. Важно учитывать, что консерватизм в отношении последних предполагается практически на всех стадиях расчета ДС, начиная от установления основного предела доз, выделения дозовых квот на этот путь воздействия, коэффициентами при расчете дозовых нагрузок и заканчивая предложенной выше рекомендацией по величине критерия. Каждая такая «предосторожность», на наш взгляд, требует серьезного научного и экономического обоснования. В качестве возможного инструментария для исследования выше (глава 4) рассматривалась комплексная оценка риска и сравнение его с социально приемлемым значением.

Если же следовать предложенному требованию, то даже очень грубые оценки средних концентраций  $^{137}\text{Cs}$  в донных отложениях при установленном нормативе, исходящем из недопущения превышения УАНИ для этого нуклида (100 Бк/кг), реально не превысят 10 Бк/кг<sup>20</sup>. С одной стороны это хорошо — биота и человек гарантировано защищены, воздействие от загрязнения донных отложений сведено к бесконечно малой величине. Эта величина (10 Бк/кг) существенно ниже разрешенных концентраций нуклида во всех продуктах питания (включая детское питание). Но встают вопросы, свойственные Homo sapiens sapiens — человеку *разумному*: всегда ли и для всех ли предприятий необходимо вводить такие ограничения? Влияет ли географическое расположение объекта на величину вводимого критерия? Должны ли нормы на донные отложения быть более жесткими, чем на продукты питания? Специалисты Ростехнадзора не дают ответа на подобные вопросы, хотя именно они определяют политику в области практического нормирования.

Следует также напомнить, что, например, в 1964 г. средняя концентрация  $^{137}\text{Cs}$  в верхнем почвенном слое практически на территории всего северного полушария доходила до 400 Бк/кг и уменьшилась в среднем к 2000 г. до 10 Бк/кг. Это обстоятельство, однако, не привело к отмеченным последствиям для здоровья населения и тем более для объектов окружающей среды, что неоднократно подчеркивалось в докладах НКДАР ООН. Никаких ограничений жизнедеятельности ни на одной территории планеты не вводилось.

Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в пробах донных отложений, отобранных в Финском заливе и Балтийском море составляло сотни Бк/кг сух. веса, достигая в отдельных слоях 5-6 тысяч Бк/кг [Mattila et al., 2006; HELCOM, 2013; HELCOM, 2014]. Если вспомнить выпадения 1986 г., то на юго-западе Ботнического залива (у берегов Швеции) концентрация  $^{137}\text{Cs}$  в отдельных пробах донных отложений достигала 14000 Бк/кг [Evans, 1991]. При этом концентрация  $^{137}\text{Cs}$  в промысловой рыбе в 2010 г. (2,0-6,5 Бк/кг) была почти на два порядка ниже допустимой в РФ — 130 Бк/кг<sup>21</sup> [СанПиН, 2001]. Следует отметить, что за все годы радиационного мониторинга Балтийского моря в рамках международных программ не было отмечено превышения указанного выше норматива по образцам выловленной промысловой рыбы [Материалы, 1991]. Т.е. никаких реальных угроз ни здоровью населения, ни популяциям промысловых рыб не только не было отмечено, но даже не возникло опасений на этот счет.

Всемирная организация по продовольствию (ФАО) ограничивает распространение пищевой продукции за границы стран с концентрациями по  $^{137}\text{Cs}$  выше 1000 Бк/кг. Нормативы на рыбную продукцию в ряде стран представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 - Нормативы по содержанию радиоактивных изотопов цезия в рыбе в различных странах

Страна или сообщество	$^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$
Codex (FAO)	1000
EU (европейский союз)	1250
США	1200
Конг Конг, Малайзия, Филиппины, Вьетнам	1000
Китай	800
Сингапур, Таиланд	500
Южная Корея, Тайвань	370
Россия	130
Япония	500 ⇒ 100

<sup>20</sup> Чтобы обеспечить соблюдение норматива необходимо организовать сброс загрязненных вод, чтобы средняя концентрация (которая и контролируется эксплуатационными службами) радионуклида в воде, соответствовала бы расчетной величине концентрации в донных отложениях на порядок ниже норматива.

<sup>21</sup> Долгое время это был самый жесткий национальный норматив на содержание радионуклида в рыбной продукции.

А в предлагаемой методике речь идет вовсе не о продуктах питания, а о донных отложениях, контакт с которыми для человека весьма ограничен. Т.е. употреблять в пищу донные отложения можно, а вот находиться им на дне водоема никак нельзя, потому что, по мнению Ростехнадзора, они представляют некую угрозу. При этом разница в величинах на два порядка не останавливает представителей Ростехнадзора в желании максимально ограничить производителя. Естественно, никаких предложенных сценариев облучения и соответствующих расчетов, обосновующих предложенное требование никто не приводит.

2. Так же не очень убедительным и обоснованным выглядит и требование в подготовленном проекте по установлению ДС, изложенное ниже:

*«В соответствии с положениями, относящимися к охране окружающей среды при обращении с отходами производства и потребления, установленными статьей 51 [Федеральный, 2002], запрещается сброс отходов производства и потребления, в том числе радиоактивных отходов, в поверхностные и подземные водные объекты, на водосборные площади, в недра и на почву. В связи с этим, с учетом критериев отнесения жидких отходов к радиоактивным отходам, установленных в [Постановление, 2012], величина удельной активности  $\gamma$ -го радионуклида в сбрасываемой жидкости не должна превышать **десять процентов** (выделено нами) от установленного в [Постановление, 2012] минимального значения удельной активности данного радионуклида в отходах, на основании которого жидкие отходы относятся к радиоактивным отходам».*

Почти для всех радионуклидов уровень отнесения жидких отходов к РАО определялся по договоренности, достигнутой между специалистами различных отечественных ведомств, как 100-кратное превышение уровня вмешательства (УВ), установленный в НРБ-99/2009 для большинства радионуклидов. Эта компромиссная договоренность была закреплена в Постановлении правительства РФ № 1069 от 19.10.2012 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов» [Постановление, 2012]. Договоренность базировалась как на всестороннем изучении предшествующего опыта эксплуатации предприятий атомной отрасли, так и на оценках возможных дозовых нагрузок на население, реализуемым по всем путям водопользования. Выбранный граничный уровень отнесения отходов к радиоактивным, можно сказать, только технически отталкивался от значений УВ, характеризующих относительную опасность радионуклидов.

Тут, возможно, уместно вспомнить и историю с появлением понятия «Уровень вмешательства». В отечественную нормативную практику УВ было введено в 1999 г. (НРБ-99): **«Уровень вмешательства (УВ) — уровень радиационного фактора, при превышении которого следует проводить определенные защитные мероприятия»** [НРБ, 1999].

Так в п. 5.3.3 НРБ-99 установлен уровень вмешательства для эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) изотопов радона и его численное значение, равное 200 Бк/м<sup>3</sup>.

Теперь обратимся к официальным комментариям к НРБ-99, написанными ведущими российскими специалистами в области радиационной защиты:

*«Эти значения норматива и уровня вмешательства взяты из 39 публикации МКРЗ [ICRP, 1984]. По приведенным выше формулам можно подсчитать, что норматив соответствует годовой эффективной дозе 6,7 мЗв, а уровень вмешательства — дозе 13,4 мЗв. Столь высокие значения доз, вытекающие из современных оценок дозовых коэффициентов, входят в противоречие с критерием высокого облучения населения природными источниками излучения, установленным в п. 5.2.2 ОСПОРБ-99. Для устранения этого противоречия нужно либо ужесточать норматив и уровень вмешательства, либо принимать большее значение критерия высокого облучения. Первый путь представляется более разумным. Так, если принять для России значения, действующие в настоящее время в США, а именно, норматив и уровень*



вмешательства, одинаковые и равны (в единицах ЭРОА)  $60 \text{ Бк/м}^3$ . Этому значению соответствует годовая эффективная доза  $4 \text{ мЗв}$ , что вполне согласуется с принятым в п. 5.2.2 ОСПОРБ-99 критерием высокого облучения природными источниками излучения. Возможно, такая поправка будет внесена при очередном пересмотре НРБ. Приведенные в п.п. 5.3.2. 5.3.3 НРБ-99 значения эффективной дозы гамма-излучения равны мощности поглощенной в воздухе дозы (воздушной кермы), умноженной на коэффициент, равный  $0,7 \text{ Зв/Гр}$ .

Из этого комментария нетрудно понять, что, во-первых, уровень вмешательства может быть выше норматива. Это соответствует принципу ALARA. В самом деле, норматив (в данном случае годовая эффективная доза) получен исходя из некоторых предположений, которые в области защиты всегда в той или иной мере консервативны, что обеспечивает увеличение запаса прочности и гарантирует приемлемую безопасность для здоровья популяции. Уровень вмешательства по своему определению требует применения некоторых защитных мер для компенсации вреда. Понятно, что это несет за собою некоторые расходы, и в соответствии с принципом оптимизации необходимо найти баланс между возможными затратами и наносимым ущербом. Т.е. согласно такой логике уровень вмешательства всегда выше норматива, но в пределе может стремиться к нему «сверху», как в США в отношении радона, где справедливо полагают, что такая защитная мера, как проветривание помещения, по стоимости близка к нулевому значению.

Толкование значений уровней вмешательства приводится в самих НРБ-99, прежде всего в п.6.2, 6.3 и 6.4, а также в Приложении 5, носящим справочный характер.

В главе 6, которая посвящена ограничениям облучения населения в условиях радиационной опасности в соответствии с принципами радиационной защиты, а именно:

*«– предлагаемое вмешательство должно принести обществу и, прежде всего, облучаемым лицам больше пользы, чем вреда, т.е. уменьшение ущерба в результате снижения дозы должно быть достаточным, чтобы оправдать вред и стоимость вмешательства, включая его социальную стоимость (принцип обоснования вмешательства);*

*– форма, масштаб и длительность вмешательства должны быть оптимизированы таким образом, чтобы чистая польза от снижения дозы, т.е. польза от снижения радиационного ущерба за вычетом ущерба, связанного с вмешательством, была бы максимальной (принцип оптимизации вмешательства)»*

приводятся различные уровни вмешательства для различных ситуаций облучения и мер защиты. Главное на что мы обращаем внимание, что эти уровни превышают тот уровень, который разграничивает (со всей понятной условностью) опасность от неопасности.

Есть еще одно место справочного характера, где фигурируют уровни вмешательства — это приложение 5 в НРБ-99.

Здесь мы видим, что для территорий, загрязненных в результате радиационных аварий сохраняется вышеизложенная логика. И уровни вмешательства устанавливаются там, где превышен основной дозовый предел, при этом производится зонирование по степени превышения основного предела, что и предопределяет характер защитных мероприятий.

В этом же приложении 5 предлагаются еще два уровня при обнаружении локальных радиоактивных загрязнений (п.4):

*«4.1. Уровень исследований — от  $0,01$  до  $0,3 \text{ мЗв/год}$ . Это такой уровень радиационного воздействия источника на население, при достижении которого требуется выполнить исследование источника с целью уточнения оценки величины годовой эффективной дозы и определения величины дозы, ожидаемой за 70 лет.*

*4.2. Уровень вмешательства — более  $0,3 \text{ мЗв/год}$ . Это такой уровень радиационного воздействия, при превышении которого требуется проведение защитных мероприятий с целью ограничения облучения населения...»*

Возможно, из-за того, что Приложение 5 носит справочный характер, авторы комментариев, обходят его своим вниманием. А необходимость в комментариях имеется. Начнем с того, что в названии п.4 Приложения 5: «**Критерии вмешательства при обнаружении локальных радиоактивных загрязнений**» отсутствует важное дополнение, указывающее на то, что эти локальные загрязнения обусловлены техногенной деятельностью человека. В противном случае любая точка земной поверхности попадает под это определение и, следовательно, предполагает проведение защитных мероприятий. Это, может быть, и имеет смысл, исходя из некоторой философской парадигмы, но никак не может быть признано разумным с практической точки зрения.

Во-вторых, название, на наш взгляд, не очень точно отражает суть. Более правильно было бы сказать: «Критерии действий...», поскольку критерии вмешательства, согласно ранее введенному понятию, выше критериев безопасности, которые, как мы знаем, могут быть различны для разных источников облучения, например:

- для глобального радиоактивного загрязнения квота составляла в среднем для жителя страны 20 мЗв за 30-летний период [ICRP, 1959];
- средняя годовая эффективная доза 1 мЗв в результате использования источников ионизирующего излучения [Федеральный, 1996];
- средняя годовая эффективная доза за счет облучения радоном 10 мЗв [ICRP, 2014].

Для локального загрязнения и в 1999 г. и до настоящего времени критерии безопасности (основной предел или как теперь правильнее называть — «референтный уровень») в отечественном законодательстве не закреплены. А это означает, что и уровни вмешательства, как производные от основного предела могут носить только справочный характер. Если обратиться к сегодняшнему времени и международному опыту, то и рекомендации Публикации 103 [ICRP, 2007] и требования Основных норм безопасности [IAEA, 2014] дают национальным органам ориентиры для установления референтных уровней для остаточного загрязнения территорий в диапазоне от 1 до 20 мЗв. Таким образом, уровни вмешательства, если следовать международной нормативной базе для локальных загрязнений должны быть, по меньшей мере, выше, чем 1 мЗв/год. Для более низких уровней, которые ранее у нас именовались «контрольными» можно было ввести предлагаемое наименование «уровни исследования». Для установления остаточного загрязнения в практике отечественного нормирования существует референтный уровень, а именно:

*«При отводе земельных участков под строительство зданий жилищного и общественного назначения выбираются участки с мощностью эквивалентной дозы гамма-излучения не более 0,3 мкЗв/ч...»* [Санитарные, 2010; МУ, 2011]. В пересчете на среднюю годовую дозу величина уровня составит — 2,6 мЗв.

При этом в МУ 2.6.1.2838-11 для производственных зданий и прилегающих территорий мощность дозы не должна превышать 0,6 мкЗв/час (пункты 5.1, 5.11 и 5.12). Этой величине соответствует 5,2 мЗв/год и здесь это вместе с естественным  $\gamma$ -фоном, средняя величина которого составляет 0,86 мЗв/год [НКДАР ООН, 2000].

Исходя из логики установления уровней вмешательства, международных требований и решения задач в части социального спокойствия, можно было бы закрепить значение **2,5 мЗв/год** за уровнем, выше которого необходимо обследование территории и подготовка заключения о кадастровой ценности (стоимости) земельного участка. Возможно, потребуются разработка некоторой системы уровней для зонирования локально радиоактивно загрязненных участков. Кроме того, для  $\beta$ - и  $\alpha$ -источников, находящихся на земной поверхности должны действовать и другие производные от дозового критерия. Отсутствие таких критериев нанесло, в частности, значительный ущерб ОАО ЭЗТМ при радиационном инциденте, имевшим место на территории этого завода в 2013 г.

В НРБ-99 есть еще одно место, где появляются уровни вмешательства, а именно Приложение П-2 основного документа. В самих НРБ комментарии к этим уровням вмешательства ограничиваются сообщением, что «При формировании данных о поступлении радионуклидов с питьевой водой ( $УВ_{\text{вода}}$ ) были использованы дозовые коэффициенты для взрослых лиц из состава населения».

Следует сказать, что комментарии тут как раз были бы излишними. Поскольку здесь, вопреки ранее излагаемой понятийной логике в отношении уровней вмешательства, происходит переворот понятий. Уровни вмешательства для питьевой воды существующие жестче, чем гигиенические нормативы. Так в СанПиН 2.3.2.1078-01 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов» для целого ряда напитков, в том числе и для бутилированной питьевой воды, устанавливаются предельные концентрации по  $^{137}\text{Cs}$  в 70 Бк/л, а для  $^{90}\text{Sr}$  — 100 Бк/л. Не останавливаясь специально на том удивительном факторе, что для более биологически значимого нуклида  $^{90}\text{Sr}$  норматив мягче, чем для  $^{137}\text{Cs}$ , обратим внимание на то, что указанный норматив по  $^{137}\text{Cs}$  соответствует при годовом потреблении 730 л воды [НРБ, 1999] среднегодовой эффективной дозе для взрослого человека 0,66 мЗв. Если считать эту величину референтным уровнем для питьевой воды, то уровень вмешательства должен был бы быть никак не меньше этой величины. Однако в НРБ-99 он для этого нуклида установлен как **0,1 мЗв/год** и соответственно концентрация в поверхностных водоемах (причем не обязательно используемых для питьевого водоснабжения)  $УВ=11$  Бк/л. Т.е. с одной стороны при использовании питьевой воды из колодца или водопроводной сети имеем один ограничительный критерий, а при покупке воды в торговой сети — другой, существенно менее жесткий. На наш взгляд, это происходит, прежде всего, из-за неверного толкования термина «уровень вмешательства» для питьевой воды.

Приведенные выше примеры со всей очевидностью показывают, что необходима гармонизация терминов, понятий и, естественно, нормативов, прежде всего, внутри отечества. При этом вполне разумно использовать и международную терминологию и понятийный аппарат и большинство численных значений параметров, важных для реалистических оценок и соблюдения основных стандартов радиационной безопасности, которые, безусловно, даже быть едиными для всего мирового сообщества.

Возвращаясь к установлению допустимых сбросов для предприятия, как мы полагаем, не должно предлагаться сразу несколько критериев. Такое положение только затруднит и без того непростую процедуру расчета ДС.

Установление дозовых квот облучения населения от отдельного источника возложено (п.5.2.2 НРБ-99/2009) на федеральные органы исполнительной власти, уполномоченные осуществлять государственный санитарно-эпидемиологический надзор.

Ограничения, связанные с облучением объектов живой природы, разрабатывает и устанавливает Министерство природных ресурсов и экологии РФ.

Таким образом, для установления допустимых сбросов отдельными предприятиями вполне достаточно пользоваться этими критериями, соблюдая при этом требования Закона о недопущении сбросов ЖРО в поверхностные водоемы.

### **Список использованных источников**

- 1 Evans S. Impacts of the Chernobyl fallout in the Baltic Sea ecosystem. In book: The Chernobyl Fallout in Sweden. Edited by L. Moberg. The Swedish Radiation Protection Institute, Stockholm, 1991, pp.109-128.
- 2 HELCOM MORS EG. Cesium-137 in Baltic Sea sediments Baltic Sea. Environment Fact Sheet 2014; Published: 20 August 2014.
- 3 HELCOM. Radioactivity in the Baltic Sea 2007-2010. Baltic Sea Environment Proceedings No.135, Helsinki Commission, Helsinki, 2013.

- 4 IAEA 2014. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, IAEA Safety Standards Series No. General Safety Requirements, Part 3. No GSR-3, IAEA, Vienna, 2014.
- 5 ICRP 1959. Publication 1. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, 1959.
- 6 ICRP 1984. Principles for Limiting Exposure of the Public to Natural Sources of Radiation. ICRP Publication 39. Ann. ICRP 14 (1).
- 7 ICRP 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ELSEVIER, ICRP. Publication 103. Annals of the ICRP, 37 (2-4), pp. 1-332.
- 8 ICRP 2014. Radiological Protection against Radon Exposure. ICRP Publication 126. Ann. ICRP 43(3).
- 9 Mattila J., Kankaanpää H., Ilus E. Estimation of recent sediment accumulation rates in the Baltic Sea using artificial radionuclides Cs-137 and Cs-239, Pu-240 as time markers. Boreal Environment Research 2006, №116, pp. 95-107.
- 10 Материалы к национальному отчету: «Радиоактивность Балтийского моря в 1990 г.» тема 11.7.4 плана ПК СЭВ атомэнерго на 1986-1990 гг., Институт биофизики МЗ СССР, 1991, 28 с.
- 11 МУ 2.6.1.2838-11. Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка жилых, общественных и производственных зданий и сооружений после окончания их строительства, капитального ремонта, реконструкции по показателям радиационной безопасности. Утверждено Руководителем службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г.Г. Онищенко. Введено 28 февраля 2011 г.
- 12 НКДАР ООН Доклад 2000 г. Генеральной ассамблее с научными приложениями. Том II, Приложение J. Нью-Йорк. ООН, 2000, 466 с.
- 13 НП-058-04 «Безопасность при обращении с радиоактивными отходами. Общие положения», утвержденные постановлением Ростехнадзора от 31 декабря 2004 г. № 15.
- 14 НРБ 1999. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). СП 2.6.1.758-99. М.: Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России, 1999. – 116с.
- 15 ОСПОРБ-99/2010 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности» СП 2.6.1.2612-10, утвержденные Главным Государственным санитарным врачом Российской Федерации 26 апреля 2010 г. (зарегистрированы в Минюсте России 11 августа 2010 г., регистрационный № 18115).
- 16 Постановление Правительства Российской Федерации от 19 октября 2012 г. № 1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам, и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов».
- 17 Санитарные правила и нормы. СанПиН 2.6.1.2800-10. Утверждены Постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 24.12.2010 N 171.
- 18 СанПиН 2.3.2.1078-01 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов», утвержденные Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 06.11.2001 (зарегистрированы в Министерстве юстиции Российской Федерации 22 марта 2002 г., регистрационный № 3326).
- 19 Федеральный закон от 09.01.1996 г. № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения».

## III.1 Определение перечня радионуклидов, подлежащих нормированию

Вниманию читателей предлагается книга, в которой рассматриваются практические вопросы оценки текущего состояния и долгосрочного прогнозирования уровней радиационного воздействия предприятий атомной отрасли, включая и объекты ядерного наследия, на человека и окружающую среду. Значительное место в книге уделено формированию суждений о том, допустимо такое воздействие и в какой степени необходимы меры защиты.

Прежде, чем перейти к определению нормативов ПДВ, нужно с учетом Распоряжения Правительства РФ от 8 июля 2015 г. N 1316-р «Перечень загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды» [Распоряжение, 2015] определить перечень радионуклидов, содержащихся в выбросах, и подлежащих нормированию.

Определение перечня радионуклидов, содержащихся в выбросах, и подлежащих нормированию, выполняется следующим образом:

1) для каждого детектируемого штатными средствами контроля радионуклида  $r$ , входящего в состав выброса из источника  $i$ , рассчитывается отношение:

$$\eta_{r,i} = \frac{H_{r,i}^{obl.} + H_{r,i}^{nov.} + H_{r,i}^{инт.} + H_{r,i}^{пищ.}}{\sum_r (H_{r,i}^{obl.} + H_{r,i}^{nov.} + H_{r,i}^{инт.} + H_{r,i}^{пищ.})}, \text{ где} \quad (\text{III.1})$$

$H_{r,i}^{obl.}$  — условная годовая эффективная доза внешнего облучения от облака, с концентрацией радионуклида равной концентрации в устье венттрубы, Зв/год;

$H_{r,i}^{nov.}$  — условная годовая эффективная доза внешнего облучения за счет радиоактивного загрязнения поверхности земли, обусловленная данным радионуклидом, при концентрации радионуклида в воздухе равной концентрации в устье венттрубы, Зв/год;  $H_{r,i}^{инт.}$  — условная годовая эффективная доза внутреннего облучения от вдыхания радионуклидов при концентрации радионуклида в воздухе равной концентрации в устье венттрубы, Зв/год;

$H_{r,i}^{пищ.}$  — условная годовая эффективная доза внутреннего облучения за счет потребления пищевых продуктов, обусловленная данным радионуклидом при концентрации радионуклида в воздухе равной концентрации в устье венттрубы, Зв/год.

2) для каждого источника  $i$  выполняется ранжирование значений  $\eta_{r,i}$  в порядке их убывания по  $i$ ;

3) затем выполняется суммирование  $\eta_{r,i}$  до достижения суммы значения большего или равного 0,99;

4) объединяются списки радионуклидов для всех источников  $i$  в единый список;

5) из списка радионуклидов  $r$  оставляют те, которые в сумме (сложение происходит от нуклида, дающего наибольший вклад в дозовую нагрузку, к тем, чей вклад меньше) дают не менее 99% общей дозы.

Условная годовая эффективная доза внешнего облучения от облака рассчитывается по формуле:

$$H_{r,i}^{obl} = 3,15 \cdot 10^7 \cdot \frac{\dot{Q}_{r,i}}{W_i} R_{obl}^r, \quad \text{где} \quad (\text{П1.2})$$

$\dot{Q}_{r,i}$  — среднегодовая мощность выброса, Бк/с;

$R_{obl}^r$  — коэффициент дозового преобразования при внешнем облучении человека от облака для радионуклида  $r$ , (Зв·м<sup>3</sup>)/(с·Бк);

$W_i$  — расход выбрасываемой в атмосферу газовой смеси, м<sup>3</sup>/с.

Условная годовая эффективная доза внешнего облучения за счет радиоактивного загрязнения поверхности земли рассчитывается по формуле:

$$H_{r,i}^{nov} = 3,15 \cdot 10^7 \cdot V_d^r \cdot \frac{\dot{Q}_{r,i}}{W_i} \cdot \frac{R_{nov}^r}{\lambda^r}, \quad \text{где} \quad (\text{П1.3})$$

$V_d^r$  — скорость сухого осаждения радионуклида  $r$  на подстилающую поверхность, м/с;

$R_{nov}^r$  — коэффициент дозового преобразования при внешнем облучении человека от радиоактивно загрязненной поверхности без учета глубинного распределения для радионуклида  $r$ , (Зв·м<sup>2</sup>)/(с·Бк);

$\lambda^r$  — постоянная радиоактивного распада радионуклида  $r$ , с<sup>-1</sup>;

Условная годовая эффективная доза внутреннего облучения от вдыхания радионуклидов рассчитывается по формуле:

$$H_{r,i}^{инг} = 3,15 \cdot 10^7 \cdot \frac{\dot{Q}_{r,i}}{W_i} \cdot \varepsilon_{инг}^r \cdot U_{ин}^r, \quad \text{где} \quad (\text{П1.4})$$

$\varepsilon_{инг}^r$  — коэффициент дозового преобразования при ингаляции для  $r$ -го радионуклида, относящегося к группе ИРГ, (Зв·м<sup>3</sup>)/(с·Бк);

$U_{ин}^r$  — интенсивность вдыхания для лиц возрастной группы, которая является критической, в соответствии с [НРБ, 2009], по поступлению радионуклида  $r$  за счет ингаляции, м<sup>3</sup>/с.

Условная годовая эффективная доза внутреннего облучения за счет потребления пищевых продуктов, содержащих радионуклиды, рассчитывается по формуле:

$$H_{r,i}^{пищ} = 3,15 \cdot 10^7 \cdot \sum_f I_{r,f} \cdot \varepsilon_{пищ}^r \cdot V_d^r \cdot \frac{\dot{Q}_{r,i}}{W_i} \cdot (K_1^{r,f} + K_2^{r,f}), \quad \text{где} \quad (\text{П1.5})$$

$I_{r,f}$  — годовое потребление продукта  $f$  лицом из возрастной группы, которая является критической по пероральному поступлению радионуклида  $r$  с пищевыми продуктами<sup>22</sup>, кг/год;

$\mathcal{E}_{пищ}^r$  — коэффициент дозового преобразования при пероральном поступлении радионуклида  $r$ , Зв/Бк;

$K_1^{r,f}$  — коэффициент перехода «выпадение из атмосферы – поступление в продукт» радионуклида  $r$  в продукт питания  $f$  по воздушному пути, рассчитывается для овощной, молочной и мясной выпечки, м<sup>2</sup>·год/кг;

$K_2^{r,f}$  — коэффициент перехода «выпадение из атмосферы – поступление в продукт» радионуклида  $r$  в продукт питания  $f$  по корневому пути, м<sup>2</sup>·год/кг.

### П1.2 Алгоритм расчета нормативов ПДВ для случая множественных удаленных друг от друга и отличающихся по своим характеристикам источников

В случае если разработка нормативов ПДВ производится для организации, на территории которой на значительных расстояниях друг от друга распределены источники выброса, отличающиеся по своим характеристикам (таким как высота, диаметр устья трубы, расход и др.), для определения нормативов ПДВ можно использовать следующий алгоритм:

1) задать пространственную сетку координат<sup>23</sup> и во всех ее узлах рассчитать функционал  $\Psi_{r,i}$  (с помощью формул (П1.7) – (П1.12) данного Приложения) для каждого радионуклида  $r$ , выбрасываемого из каждого источника  $i$ ;

2) рассчитанные в каждом узле сетки функционалы  $\Psi_{r,i}$  умножить на значение фактического выброса  $Q_{r,i}$   $r$ -го радионуклида из  $i$ -го источника и выполнить суммирование по всем радионуклидам и источникам, получив, таким образом, значение годовой эффективной дозы в каждом из узлов пространственной сетки;

3) выбрать максимальное значение годовой эффективной дозы  $H_{eff}^{max}$  и рассчитать отношение  $\delta/H_{eff}^{max}$ , где  $\delta$  – часть предела эффективной дозы для лиц из населения (квота), Зв/год;

4) определить величины  $ПДВ_{eff}^{r,i}$ , используя следующее соотношение:

$$ПДВ_{eff}^{r,i} = Q_{r,i} \cdot \frac{\delta}{H_{eff}^{max}} \quad (П1.6)$$

5) аналогично выполнить расчет  $ПДВ_{eq,кожа}^{r,i}$  и  $ПДВ_{eq,хрусталик}^{r,i}$  с использованием формулы (Б.1.10), значений  $\delta_k$  вместо  $\delta$  и  $H_{eq,k}^{max}$  вместо  $H_{eff}^{max}$ .

### П1.3 Методы расчета функций перехода, связывающих активность выброса с годовой эффективной или эквивалентными дозами облучения населения

Соотношение для расчёта функции перехода, связывающей активность годового выброса радионуклида  $r$  из  $i$ -го источника с годовой эффективной дозой облучения населения, приведенное в пункте 14 Методики [Методика, 2012], имеет следующий вид:

$$\Psi_{r,i}(x, n) = \Psi_{r,i}^{обл}(x, n) + \Psi_{r,i}^{nog}(x, n) + \Psi_{r,i}^{инз}(x, n) + \Psi_{r,i}^{пищ}(x, n), \quad \text{где (П1.7)}$$

<sup>22</sup> Допускается определять критическую группу не по каждому пути радиационного воздействия, а по всем путям (хотя расчет в этом случае сложнее, значение поученного ПДВ может заметно отличаться в большую сторону).

<sup>23</sup> Выбор размерности сетки определяется разработчиком в зависимости от параметров площадки

$\Psi_{r,i}^{обл}(x,n)$  — функция перехода для расчёта годовой дозы внешнего облучения от облака, Зв/Бк;

$\Psi_{r,i}^{нов}(x,n)$  — функция перехода для расчета годовой дозы внешнего облучения от радиоактивного загрязнения поверхности земли, Зв/Бк;

$\Psi_{r,i}^{инг}(x,n)$  — функция перехода для расчета годовой дозы внутреннего облучения от вдыхания радионуклидов (ингаляционный путь), Зв/Бк;

$\Psi_{r,i}^{пищ}(x,n)$  — функция перехода для расчета годовой дозы внутреннего облучения от потребления пищевых продуктов, содержащих радионуклиды (пероральный путь), Зв/Бк;

$x$  — расстояние от источника, м;

$n$  — номер румба, определяющего направление распространения выброса.

Функция перехода  $\Psi_{r,i}^{обл}(x,n)$  определяется следующим образом:

$$\Psi_{r,i}^{обл}(x,n) = R_{обл}^r \cdot \bar{G}_{i,n}^r(x), \quad \text{где} \quad (П1.8)$$

$R_{обл}^r$  — коэффициент дозового преобразования при внешнем облучении человека от облака для радионуклида  $r$ , (Зв·м<sup>3</sup>)/(с·Бк);

$\bar{G}_{i,n}^r(x)$  — среднегодовой метеорологический фактор разбавления в приземном слое атмосферы для радионуклида  $r$  на расстоянии  $x$  от  $i$ -го источника в  $n$ -ом румбе, с/м<sup>3</sup>.

Функция перехода  $\Psi_{r,i}^{нов}(x,n)$  рассчитывается по формуле:

$$\Psi_{r,i}^{нов}(x,n) = (F_{r,i,n}(x) + W_{r,i,n}(x)) \cdot \frac{R_{нов}^r}{\lambda^r + \lambda_b}, \quad \text{где} \quad (П1.9)$$

$F_{r,i,n}(x)$  — среднегодовой метеорологический фактор сухого осаждения радионуклида  $r$  на подстилающую поверхность на расстоянии  $x$  от  $i$ -го источника выброса в  $n$ -ом румбе, м<sup>-2</sup>;

$W_{r,i,n}(x)$  — среднегодовой метеорологический фактор влажного выведения радионуклида  $r$  из облака на подстилающую поверхность на расстоянии  $x$  от  $i$ -го источника выброса в  $n$ -ом румбе, м<sup>-2</sup>;

$R_{нов}^r$  — коэффициент дозового преобразования при внешнем облучении человека от радиоактивно загрязненной поверхности без учета глубинного распределения для радионуклида  $r$ , (Зв·м<sup>2</sup>)/(с·Бк);

$\lambda^r$  — постоянная радиоактивного распада радионуклида  $r$ , с<sup>-1</sup>;

$\lambda_b$  — постоянная спада мощности дозы  $\gamma$ -излучения от загрязненной поверхности земли за счет экранирования верхними слоями почвы, диффузии вглубь и выведения радионуклидов из нее



за счет различных процессов, кроме радиоактивного распада,  $\text{с}^{-1}$  (например, в соответствии с [Гусев и Беляев, 1991] принимается равной  $1,27 \cdot 10^{-9} \text{с}^{-1}$ ). Однако, разработчик нормативов вправе использовать менее консервативные значения  $\lambda_b$  применительно к конкретным радионуклидам и конкретным ландшафтным условиям.

В отечественной практике при оценке дозовых нагрузок, формируемых за счет попадания радионуклидов в различные среды, использовался широкий спектр научных изданий и справочников, в которых приводятся дозовые коэффициенты  $R_{обл}^r$  и  $R_{нов}^r$ . Так для оценки дозы от облака использовались работы [Eckerman and Kerr, 1980; Kocher, 1983]. Для оценки дозовой нагрузки от поверхности земли помимо указанных выше авторов использовали работы [Beck, 1980; Гусев и Беляев, 1991], а также нормативный документ МАГАТЭ [IAEA, 2004]. Хорошо известен и разработанный Окриджской национальной лабораторией для Агентства по охране окружающей среды США под ред. Keith F. Eckerman и Jeffrey C. Rytan нормативный документ [EPA, 1993].

Следует отметить, что приведенные в [EPA, 1993] дозовые коэффициенты являются коэффициентами перехода от объемной активности радионуклида в воздухе и от поверхностной активности радионуклида на поверхности земли к так называемому эффективному дозовому эквиваленту (далее – ЭДЭ), который определен в публикации № 26 МКРЗ [ICRP, 1977]. Однако в настоящее время публикация МКРЗ № 26 [ICRP, 1977] отменена, а вместо ЭДЭ используется эффективная доза (для малых значений доз). Отличие эффективной дозы от ЭДЭ состоит в том, что такие органы и ткани как кишечник, желудок, печень, пищевод и кожа либо не учитывались при определении ЭДЭ, либо включались в категорию «остальные», для которой был предусмотрен единый взвешивающий коэффициент  $w_T$ . В отличие от [ICRP, 1977], в [ICRP, 1991] для вышеупомянутых органов и тканей определены специфичные только для них  $w_T$ .

Дозовые коэффициенты  $R_{обл}^r$  и  $R_{нов}^r$ , позволяющие осуществить переход от объемной активности радионуклида в воздухе и от поверхностной активности радионуклида на поверхности земли к эффективной дозе с учетом [ICRP, 1991], приведены также в справочной системе Radiological Toolbox [NUREG/CR, 2013], разработанной Окриджской национальной лабораторией.

В настоящее время МАГАТЭ проводит работу по упорядочиванию различных дозовых коэффициентов для использования их в практической работе по установлению производных нормативов, каковыми, в частности, являются и ПДВ и ДС.

Расчет функции перехода  $\Psi_{r,i}^{инг}$  для всех радионуклидов, кроме инертных радиоактивных газов (далее - ИРГ),  $^3\text{H}$  и  $^{14}\text{C}$ , целесообразно производить по формуле:

$$\Psi_{r,i}^{инг}(x, n) = U_{ин}^r \cdot \varepsilon_{инг}^r \cdot \bar{G}_{i,n}^r(x), \quad \text{где} \quad (\text{П1.10})$$

$U_{ин}^r$  — интенсивность вдыхания для лиц возрастной группы, которая является критической, в соответствии с [НРБ, 2009], по поступлению радионуклида  $r$  за счет ингаляции,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$\varepsilon_{инг}^r$  — коэффициент дозового преобразования при ингаляции радионуклида  $r$ , в соответствии с таблицей приложения 2 к [НРБ, 2009], Зв/Бк.

Для ИРГ расчет функции перехода  $\Psi_{r,i}^{инг}$  можно выполнять по формуле:

$$\Psi_{r,i}^{инг ИРГ}(x, n) = \bar{G}_{i,n}^r(x) \cdot \varepsilon_{инг ИРГ}^r, \quad \text{где} \quad (\text{П1.11})$$

$\varepsilon_{инг\ ИРГ}^r$  — коэффициент дозового преобразования при ингаляции для  $r$ -го радионуклида, относящегося к группе ИРГ, (Зв·м<sup>3</sup>)/(с·Бк).

Значения  $\varepsilon_{инг\ ИРГ}^r$  могут быть приняты в соответствии с таблицей С.1 публикации № 119 МКРЗ [ICRP, 2012]. Дозовые коэффициенты  $\varepsilon_{инг\ ИРГ}^r$  из [ICRP, 2012] приведены в таблице П1.1.

Таблица П1.1 – Дозовые коэффициенты при ингаляции инертных газов при облучении взрослых и работников отрасли  $\varepsilon_{инг\ ИРГ}^r$ , (Зв·м<sup>3</sup>)/(с·Бк)

Радионуклид	$\varepsilon_{инг\ ИРГ}^r$	Радионуклид	$\varepsilon_{инг\ ИРГ}^r$
<sup>37</sup> Ar	$4,75 \cdot 10^{-20}$	<sup>120</sup> Xe	$1,74 \cdot 10^{-14}$
<sup>39</sup> Ar	$1,27 \cdot 10^{-16}$	<sup>121</sup> Xe	$8,68 \cdot 10^{-14}$
<sup>41</sup> Ar	$6,13 \cdot 10^{-14}$	<sup>122</sup> Xe	$2,2 \cdot 10^{-15}$
<sup>74</sup> Kr	$5,21 \cdot 10^{-14}$	<sup>123</sup> Xe	$2,78 \cdot 10^{-14}$
<sup>76</sup> Kr	$1,85 \cdot 10^{-14}$	<sup>125</sup> Xe	$1,08 \cdot 10^{-14}$
<sup>77</sup> Kr	$4,51 \cdot 10^{-14}$	<sup>127</sup> Xe	$1,12 \cdot 10^{-14}$
<sup>79</sup> Kr	$1,12 \cdot 10^{-14}$	<sup>129m</sup> Xe	$9,38 \cdot 10^{-16}$
<sup>81</sup> Kr	$2,43 \cdot 10^{-16}$	<sup>131m</sup> Xe	$3,70 \cdot 10^{-16}$
<sup>81m</sup> Kr	$5,56 \cdot 10^{-15}$	<sup>133m</sup> Xe	$1,27 \cdot 10^{-15}$
<sup>83m</sup> Kr	$2,43 \cdot 10^{-18}$	<sup>133</sup> Xe	$1,40 \cdot 10^{-15}$
<sup>85</sup> Kr	$2,54 \cdot 10^{-16}$	<sup>135m</sup> Xe	$1,85 \cdot 10^{-14}$
<sup>85m</sup> Kr	$6,83 \cdot 10^{-15}$	<sup>135</sup> Xe	$1,11 \cdot 10^{-14}$
<sup>87</sup> Kr	$3,94 \cdot 10^{-14}$	<sup>138</sup> Xe	$5,44 \cdot 10^{-14}$
<sup>88</sup> Kr	$9,72 \cdot 10^{-14}$		

Функция перехода  $\Psi_{r,i}^{нищ}$  для всех радионуклидов, за исключением <sup>3</sup>H и <sup>14</sup>C, определяется по формуле:

$$\Psi_{r,i}^{нищ}(x,n) = \sum_f I_{r,f} \cdot \varepsilon_{нищ}^r \cdot \left[ K_1^{r,f} \cdot (F_{r,i,n}(x) + 0,2 \cdot W_{r,i,n}(x)) + K_2^{r,f} \cdot (F_{r,i,n}(x) + W_{r,i,n}(x)) \right], \quad \text{где (П1.12)}$$

$I_{r,f}$  — годовое потребление продукта  $f$  лицом из возрастной группы, которая является критической по пероральному поступлению радионуклида  $r$  с пищевыми продуктами<sup>24</sup>, кг/год;

$\varepsilon_{нищ}^r$  — коэффициент дозового преобразования при пероральном поступлении радионуклида  $r$ , Зв/Бк;

$K_1^{r,f}$  — коэффициент перехода «выпадение из атмосферы – поступление в продукт» радионуклида  $r$  в продукт питания  $f$  по воздушному пути, рассчитывается для овощной, молочной и мясной цепочек, м<sup>2</sup>·год/кг;

$K_2^{r,f}$  — коэффициент перехода «выпадение из атмосферы – поступление в продукт» радионуклида  $r$  в продукт питания  $f$  по корневому пути, м<sup>2</sup>·год/кг.

При обосновании нормативов ПДВ в подавляющем большинстве случаев радиозэкологические данные, которые позволили бы создать модель перехода радионуклидов по

<sup>24</sup> Допускается определять критическую группу не по каждому пути радиационного воздействия, а по всем путям (хотя расчет в этом случае сложнее, значение поученного ПДВ может заметно отличаться в большую сторону).

пищевым цепочкам, учитывающие местные особенности, отсутствуют. В таких условиях, для учета пути воздействия «потребление пищи», при установлении нормативов целесообразным является использование модели, изложенной в документе МАГАТЭ [Generic, 2000].

В этой работе выделяется три группы продуктов: «молоко», «мясо» и «овощи».

Значения коэффициентов  $K_1^{r,f}$  и  $K_2^{r,f}$  для обозначенных выше групп продуктов, рассчитанные с помощью соотношений, используемых в [Generic, 2000], приведены в таблице П1.2.

Таблица П1.2 – Значения коэффициентов  $K_1^{r,f}$  и  $K_2^{r,f}$  для групп продуктов «овощи», «молоко», «мясо», м<sup>2</sup>·год/кг

Радио- нуклид	Группа продуктов					
	Овощи		Молоко		Мясо	
	$K_1^{r,f}$	$K_2^{r,f}$	$K_1^{r,f}$	$K_2^{r,f}$	$K_1^{r,f}$	$K_2^{r,f}$
Na-22	0,012	$1,35 \cdot 10^{-3}$	0,497	0,034	1,175	0,08
Na-24	-*	-	$6,55 \cdot 10^{-3}$	$5,266 \cdot 10^{-6}$	$1,11 \cdot 10^{-11}$	$8,92 \cdot 10^{-15}$
P-32	$1,005 \cdot 10^{-4}$	$5,521 \cdot 10^{-6}$	0,017	$4,661 \cdot 10^{-4}$	0,013	$3,477 \cdot 10^{-4}$
P-33	$8,224 \cdot 10^{-4}$	$6,624 \cdot 10^{-5}$	0,022	$8,726 \cdot 10^{-4}$	0,024	$9,742 \cdot 10^{-4}$
S-35	$5,729 \cdot 10^{-3}$	$7,815 \cdot 10^{-4}$	0,031	$2,145 \cdot 10^{-3}$	0,203	0,014
Cr-48	-	-	$1,152 \cdot 10^{-5}$	$1,579 \cdot 10^{-9}$	$4,083 \cdot 10^{-9}$	$5,596 \cdot 10^{-13}$
Cr-49	-	-	$3,892 \cdot 10^{-17}$	-	-	-
Cr-51	$1,031 \cdot 10^{-3}$	$8,862 \cdot 10^{-8}$	$2,238 \cdot 10^{-4}$	$9,616 \cdot 10^{-8}$	0,047	$2,017 \cdot 10^{-5}$
Mn-51	-	-	$5,283 \cdot 10^{-16}$	$6,789 \cdot 10^{-18}$	-	-
Mn-52	$6,702 \cdot 10^{-8}$	$7,274 \cdot 10^{-10}$	$1,395 \cdot 10^{-4}$	$2,523 \cdot 10^{-6}$	$2,315 \cdot 10^{-5}$	$4,187 \cdot 10^{-7}$
Mn-53	0,013	0,069	$6,13 \cdot 10^{-4}$	$5,532 \cdot 10^{-3}$	$1,073 \cdot 10^{-3}$	$9,681 \cdot 10^{-3}$
Mn-54	0,01	$2,335 \cdot 10^{-3}$	$5,641 \cdot 10^{-4}$	$2,152 \cdot 10^{-4}$	$9,464 \cdot 10^{-4}$	$3,61 \cdot 10^{-4}$
Mn-56	-	-	$6,703 \cdot 10^{-9}$	$8,66 \cdot 10^{-11}$	-	-
Fe-52	-	-	$1,795 \cdot 10^{-6}$	$2,359 \cdot 10^{-10}$	-	-
Fe-55	0,012	$2,808 \cdot 10^{-5}$	$5,965 \cdot 10^{-4}$	$7,043 \cdot 10^{-6}$	0,074	$8,686 \cdot 10^{-4}$
Fe-59	$2,656 \cdot 10^{-3}$	$3,335 \cdot 10^{-7}$	$3,943 \cdot 10^{-4}$	$2,476 \cdot 10^{-7}$	0,037	$2,302 \cdot 10^{-5}$
Fe-60	0,013	$2,305 \cdot 10^{-4}$	$6,13 \cdot 10^{-4}$	$5,532 \cdot 10^{-5}$	0,077	$6,914 \cdot 10^{-3}$
Co-55	-	-	$3,571 \cdot 10^{-4}$	$9,64 \cdot 10^{-7}$	$2,798 \cdot 10^{-11}$	$7,553 \cdot 10^{-14}$
Co-56	$5,246 \cdot 10^{-3}$	$8,676 \cdot 10^{-5}$	0,015	$3,175 \cdot 10^{-4}$	0,068	$1,41 \cdot 10^{-3}$
Co-57	$9,855 \cdot 10^{-3}$	$5,234 \cdot 10^{-4}$	0,019	$1,233 \cdot 10^{-3}$	0,093	$6,168 \cdot 10^{-3}$
Co-58	$4,748 \cdot 10^{-3}$	$7,135 \cdot 10^{-5}$	0,015	$2,811 \cdot 10^{-4}$	0,065	$1,225 \cdot 10^{-3}$
Co-58m	-	-	$7,999 \cdot 10^{-5}$	$2,108 \cdot 10^{-7}$	$4,179 \cdot 10^{-19}$	-
Co-60	0,012	$4,437 \cdot 10^{-3}$	0,02	$9,077 \cdot 10^{-3}$	0,105	0,047
Co-61	-	-	$3,8 \cdot 10^{-9}$	$9,791 \cdot 10^{-12}$	-	-
Ni-56	$1,804 \cdot 10^{-7}$	$2,014 \cdot 10^{-9}$	0,1	$1,854 \cdot 10^{-4}$	$2,158 \cdot 10^{-3}$	$4,013 \cdot 10^{-6}$
Ni-57	-	-	0,023	$3,228 \cdot 10^{-5}$	$6,68 \cdot 10^{-7}$	$9,492 \cdot 10^{-10}$
Ni-59	0,013	0,069	0,409	0,369	0,077	0,069
Ni-63	0,013	0,062	0,408	0,331	0,077	0,062
Ni-65	-	-	$3,76 \cdot 10^{-6}$	$4,857 \cdot 10^{-9}$	-	-
Ni-66	$2,858 \cdot 10^{-15}$	$2,56 \cdot 10^{-17}$	0,038	$5,712 \cdot 10^{-5}$	$2,197 \cdot 10^{-5}$	$3,279 \cdot 10^{-8}$
Cu-61	-*	-	$2,833 \cdot 10^{-7}$	$7,337 \cdot 10^{-10}$	-	-
Cu-64	-	-	$3,654 \cdot 10^{-5}$	$9,727 \cdot 10^{-8}$	$2,133 \cdot 10^{-15}$	$5,678 \cdot 10^{-18}$
Cu-67	$7,941 \cdot 10^{-14}$	$1,207 \cdot 10^{-15}$	$4,411 \cdot 10^{-4}$	$1,342 \cdot 10^{-6}$	$9,99 \cdot 10^{-6}$	$3,038 \cdot 10^{-8}$
Zn-62	-	-	$8,27 \cdot 10^{-5}$	$2,179 \cdot 10^{-7}$	$1,861 \cdot 10^{-18}$	-
Zn-63	-	-	$1,47 \cdot 10^{-16}$	$3,778 \cdot 10^{-19}$	-	-
Zn-65	$9,576 \cdot 10^{-3}$	0,011	0,018	$1,103 \cdot 10^{-3}$	0,261	0,016

Радио- нуклид	Группа продуктов					
	Овощи		Молоко		Мясо	
	$K_1^{r,f}$	$K_2^{r,f}$	$K_1^{r,f}$	$K_2^{r,f}$	$K_1^{r,f}$	$K_2^{r,f}$
Zn-69	-	-	$1,302 \cdot 10^{-12}$	$3,347 \cdot 10^{-15}$	-	-
Zn-69m	-	-	$2,183 \cdot 10^{-4}$	$5,828 \cdot 10^{-7}$	$3,46 \cdot 10^{-13}$	$9,239 \cdot 10^{-16}$
Zn-71m	-	-	$3,077 \cdot 10^{-6}$	$7,983 \cdot 10^{-9}$	-	-
Zn-72	$2,095 \cdot 10^{-17}$	$1,224 \cdot 10^{-18}$	$1,579 \cdot 10^{-3}$	$4,613 \cdot 10^{-6}$	$2,644 \cdot 10^{-5}$	$7,728 \cdot 10^{-8}$
Ga-66	-	-	$8,619 \cdot 10^{-8}$	$1,136 \cdot 10^{-11}$	-	-
Ga-67	$1,538 \cdot 10^{-11}$	$1,462 \cdot 10^{-15}$	$2,834 \cdot 10^{-6}$	$4,489 \cdot 10^{-10}$	$1,123 \cdot 10^{-6}$	$1,78 \cdot 10^{-10}$
Ga-68	-	-	$2,637 \cdot 10^{-14}$	$3,393 \cdot 10^{-18}$	-	-
Ga-72	-	-	$2,3 \cdot 10^{-7}$	$3,074 \cdot 10^{-11}$	$9,518 \cdot 10^{-16}$	$1,272 \cdot 10^{-19}$
Ga-73	-	-	$9,043 \cdot 10^{-9}$	$1,176 \cdot 10^{-12}$	-	-
As-70	-	-	$2,777 \cdot 10^{-15}$	$7,139 \cdot 10^{-19}$	-	-
As-71	$2,476 \cdot 10^{-13}$	$6,068 \cdot 10^{-16}$	$2,321 \cdot 10^{-5}$	$7,113 \cdot 10^{-9}$	$2,652 \cdot 10^{-5}$	$8,124 \cdot 10^{-9}$
As-72	-	-	$7,038 \cdot 10^{-6}$	$1,946 \cdot 10^{-9}$	$5,545 \cdot 10^{-9}$	$1,533 \cdot 10^{-12}$
As-73	$5,336 \cdot 10^{-3}$	$8,982 \cdot 10^{-5}$	$1,542 \cdot 10^{-4}$	$3,245 \cdot 10^{-7}$	0,02	$4,132 \cdot 10^{-5}$
As-74	$2,563 \cdot 10^{-4}$	$1,288 \cdot 10^{-6}$	$9,374 \cdot 10^{-5}$	$5,891 \cdot 10^{-8}$	$6,699 \cdot 10^{-3}$	$4,209 \cdot 10^{-6}$
As-76	-	-	$7,174 \cdot 10^{-6}$	$1,985 \cdot 10^{-9}$	$6,553 \cdot 10^{-9}$	$1,813 \cdot 10^{-12}$
As-77	$2,995 \cdot 10^{-20}$	-	$1,252 \cdot 10^{-5}$	$3,586 \cdot 10^{-9}$	$5,444 \cdot 10^{-7}$	$1,559 \cdot 10^{-10}$
As-78	-	-	$1,384 \cdot 10^{-11}$	$3,565 \cdot 10^{-15}$	-	-
Se-70	-	-	$1,009 \cdot 10^{-16}$	$1,297 \cdot 10^{-19}$	-	-
Se-73	-	-	$3,781 \cdot 10^{-6}$	$4,952 \cdot 10^{-9}$	-	-
Se-73m	-	-	$2,755 \cdot 10^{-17}$	$3,539 \cdot 10^{-20}$	-	-
Se-75	$7,111 \cdot 10^{-3}$	$2,164 \cdot 10^{-4}$	$1,672 \cdot 10^{-3}$	$2,544 \cdot 10^{-5}$	0,112	$1,71 \cdot 10^{-3}$
Se-79	0,013	0,023	$2,043 \cdot 10^{-3}$	$1,844 \cdot 10^{-3}$	0,153	0,138
Se-81m	-	-	$1,411 \cdot 10^{-13}$	$1,815 \cdot 10^{-16}$	-	-
Br-74m	-	-	$2,739 \cdot 10^{-15}$	$7,039 \cdot 10^{-18}$	-	-
Br-75	-	-	$6,787 \cdot 10^{-9}$	$1,749 \cdot 10^{-11}$	-	-
Br-76	-	-	$6,123 \cdot 10^{-4}$	$1,646 \cdot 10^{-6}$	$3,859 \cdot 10^{-12}$	$1,038 \cdot 10^{-14}$
Br-77	$5,798 \cdot 10^{-15}$	$6,947 \cdot 10^{-17}$	$3,941 \cdot 10^{-3}$	$1,181 \cdot 10^{-5}$	$2,615 \cdot 10^{-5}$	$7,833 \cdot 10^{-8}$
Br-80m	-	-	$1,12 \cdot 10^{-5}$	$2,91 \cdot 10^{-8}$	-	-
Br-82	*	-	$2,205 \cdot 10^{-3}$	$6,253 \cdot 10^{-6}$	$5,342 \cdot 10^{-7}$	$1,515 \cdot 10^{-9}$
Br-83	-	-	$2,491 \cdot 10^{-7}$	$6,434 \cdot 10^{-10}$	-	-
Br-84	-	-	$1,368 \cdot 10^{-18}$	-	-	-
Rb-81	-	-	$6,614 \cdot 10^{-5}$	$1,719 \cdot 10^{-7}$	-	-
Rb-81m	-	-	$8,375 \cdot 10^{-18}$	$2,151 \cdot 10^{-20}$	-	-
Rb-82m	-	-	$2,302 \cdot 10^{-4}$	$6,013 \cdot 10^{-7}$	-	-
Rb-83	$5,664 \cdot 10^{-3}$	$2,542 \cdot 10^{-4}$	0,157	$3,517 \cdot 10^{-3}$	0,03	$6,792 \cdot 10^{-4}$
Rb-84	$1,518 \cdot 10^{-3}$	$2,97 \cdot 10^{-5}$	0,119	$1,162 \cdot 10^{-3}$	0,018	$1,75 \cdot 10^{-4}$
Rb-86	$3,088 \cdot 10^{-4}$	$4,008 \cdot 10^{-6}$	0,096	$6,215 \cdot 10^{-4}$	0,011	$6,904 \cdot 10^{-5}$
Rb-87	0,013	0,046	0,204	0,369	0,046	0,083
Sr-80	-	-	$1,273 \cdot 10^{-9}$	$1,641 \cdot 10^{-11}$	-	-
Sr-82	$7,874 \cdot 10^{-4}$	$1,871 \cdot 10^{-5}$	$3,231 \cdot 10^{-3}$	$1,28 \cdot 10^{-4}$	$4,769 \cdot 10^{-3}$	$1,889 \cdot 10^{-4}$
Sr-83	-	-	$2,933 \cdot 10^{-4}$	$4,126 \cdot 10^{-6}$	$4,252 \cdot 10^{-8}$	$5,98 \cdot 10^{-10}$
Sr-85	$4,337 \cdot 10^{-3}$	$2,231 \cdot 10^{-4}$	$4,391 \cdot 10^{-3}$	$3,764 \cdot 10^{-4}$	$8,96 \cdot 10^{-3}$	$7,68 \cdot 10^{-4}$
Sr-85m	-	-	$1,11 \cdot 10^{-11}$	$1,428 \cdot 10^{-13}$	-	-
Sr-87m	-	-	$1,227 \cdot 10^{-7}$	$1,586 \cdot 10^{-9}$	-	-
Sr-89	$3,196 \cdot 10^{-3}$	$1,326 \cdot 10^{-4}$	$4,097 \cdot 10^{-3}$	$2,833 \cdot 10^{-4}$	$7,891 \cdot 10^{-3}$	$5,456 \cdot 10^{-4}$
Sr-90	0,013	0,027	$6,114 \cdot 10^{-3}$	0,022	0,015	0,055
Sr-91	-	-	$2,662 \cdot 10^{-5}$	$3,509 \cdot 10^{-7}$	$2,364 \cdot 10^{-19}$	-
Sr-92	-	-	$9,63 \cdot 10^{-8}$	$1,245 \cdot 10^{-9}$	-	-
Y-86	-	-	$1,516 \cdot 10^{-6}$	$2,03 \cdot 10^{-10}$	$9,223 \cdot 10^{-14}$	$1,235 \cdot 10^{-17}$

Радио- нуклид	Группа продуктов					
	Овощи		Молоко		Мясо	
	$K_1^{r,f}$	$K_2^{r,f}$	$K_1^{r,f}$	$K_2^{r,f}$	$K_1^{r,f}$	$K_2^{r,f}$
Y-86m	-	-	$2,468 \cdot 10^{-16}$	$3,171 \cdot 10^{-20}$	-	-
Y-87	$2,553 \cdot 10^{-11}$	$2,438 \cdot 10^{-15}$	$1,745 \cdot 10^{-5}$	$2,778 \cdot 10^{-9}$	$4,259 \cdot 10^{-5}$	$6,78 \cdot 10^{-9}$
Y-88	$6,616 \cdot 10^{-3}$	$5,419 \cdot 10^{-6}$	$9,822 \cdot 10^{-5}$	$1,341 \cdot 10^{-7}$	0,011	$1,481 \cdot 10^{-5}$
Y-90	$1,836 \cdot 10^{-13}$	$1,684 \cdot 10^{-17}$	$1,374 \cdot 10^{-5}$	$2,101 \cdot 10^{-9}$	$1,23 \cdot 10^{-5}$	$1,881 \cdot 10^{-9}$
Y-90m	-	-	$5,702 \cdot 10^{-9}$	$7,38 \cdot 10^{-13}$	-	-
Y-91	$3,86 \cdot 10^{-3}$	$1,838 \cdot 10^{-6}$	$8,544 \cdot 10^{-5}$	$6,779 \cdot 10^{-8}$	$8,527 \cdot 10^{-3}$	$6,765 \cdot 10^{-6}$
Y-91m	-	-	$5,226 \cdot 10^{-16}$	$6,716 \cdot 10^{-20}$	-	-
Y-92	-	-	$1,058 \cdot 10^{-8}$	$1,371 \cdot 10^{-12}$	-	-
Y-93	-	-	$6,269 \cdot 10^{-7}$	$8,281 \cdot 10^{-11}$	$2,009 \cdot 10^{-18}$	-
Zr-86	-	-	$1,904 \cdot 10^{-7}$	$2,563 \cdot 10^{-11}$	$1,141 \cdot 10^{-15}$	$1,535 \cdot 10^{-19}$
Zr-88	$5,511 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$9,334 \cdot 10^{-6}$	$1,016 \cdot 10^{-8}$	$9,964 \cdot 10^{-6}$	$1,085 \cdot 10^{-8}$
Zr-89	$1,606 \cdot 10^{-11}$	$5,09 \cdot 10^{-16}$	$1,704 \cdot 10^{-6}$	$2,7 \cdot 10^{-10}$	$3,786 \cdot 10^{-8}$	$6 \cdot 10^{-12}$
Zr-93	0,013	$2,305 \cdot 10^{-4}$	$1,226 \cdot 10^{-5}$	$1,106 \cdot 10^{-6}$	$1,532 \cdot 10^{-5}$	$1,383 \cdot 10^{-6}$
Zr-95	$4,274 \cdot 10^{-3}$	$7,337 \cdot 10^{-7}$	$8,751 \cdot 10^{-6}$	$7,511 \cdot 10^{-9}$	$8,904 \cdot 10^{-6}$	$7,642 \cdot 10^{-9}$
Zr-97	_*	-	$1,995 \cdot 10^{-7}$	$2,688 \cdot 10^{-11}$	$1,881 \cdot 10^{-15}$	$2,535 \cdot 10^{-19}$
Nb-89	-	-	$1,252 \cdot 10^{-11}$	$3,229 \cdot 10^{-15}$	-	-
Nb-90	-	-	$9,907 \cdot 10^{-8}$	$2,652 \cdot 10^{-11}$	$2,208 \cdot 10^{-17}$	-
Nb-93m	0,013	$1,166 \cdot 10^{-3}$	$8,128 \cdot 10^{-6}$	$7,528 \cdot 10^{-7}$	$4,56 \cdot 10^{-6}$	$4,223 \cdot 10^{-7}$
Nb-94	0,013	$2,304 \cdot 10^{-3}$	$8,173 \cdot 10^{-6}$	$1,474 \cdot 10^{-6}$	$4,597 \cdot 10^{-6}$	$8,294 \cdot 10^{-7}$
Nb-95	$1,752 \cdot 10^{-3}$	$1,812 \cdot 10^{-6}$	$4,869 \cdot 10^{-6}$	$5,035 \cdot 10^{-9}$	$1,883 \cdot 10^{-6}$	$1,947 \cdot 10^{-9}$
Nb-95m	$1,052 \cdot 10^{-10}$	$3,403 \cdot 10^{-14}$	$1,254 \cdot 10^{-6}$	$4,056 \cdot 10^{-10}$	$1,834 \cdot 10^{-8}$	$5,931 \cdot 10^{-12}$
Nb-96	-	-	$2,369 \cdot 10^{-7}$	$6,5 \cdot 10^{-11}$	$1,761 \cdot 10^{-13}$	$4,833 \cdot 10^{-17}$
Nb-97	-	-	$2,577 \cdot 10^{-14}$	$6,63 \cdot 10^{-18}$	-	-
Nb-98	-	-	$7,252 \cdot 10^{-17}$	$1,864 \cdot 10^{-20}$	-	-
Mo-90	-	-	$8,204 \cdot 10^{-6}$	$1,07 \cdot 10^{-8}$	-	-
Mo-93	0,013	0,046	0,01	$9,193 \cdot 10^{-3}$	0,015	0,014
Mo-93m	-	-	$1,637 \cdot 10^{-5}$	$2,142 \cdot 10^{-8}$	-	-
Mo-99	$3,827 \cdot 10^{-13}$	$2,352 \cdot 10^{-15}$	$1,184 \cdot 10^{-3}$	$1,82 \cdot 10^{-6}$	$1,478 \cdot 10^{-5}$	$2,271 \cdot 10^{-8}$
Tc-93	-	-	$3,561 \cdot 10^{-8}$	$3,683 \cdot 10^{-9}$	-	-
Tc-93m	-	-	$4,338 \cdot 10^{-16}$	$4,459 \cdot 10^{-17}$	-	-
Tc-94	-	-	$8,829 \cdot 10^{-7}$	$9,189 \cdot 10^{-8}$	-	-
Tc-94m	-	-	$2,206 \cdot 10^{-14}$	$2,268 \cdot 10^{-15}$	-	-
Tc-95	-	-	$4,544 \cdot 10^{-5}$	$4,941 \cdot 10^{-6}$	$4,667 \cdot 10^{-12}$	$5,074 \cdot 10^{-13}$
Tc-95m	$4,053 \cdot 10^{-3}$	$3,335 \cdot 10^{-3}$	$1,44 \cdot 10^{-3}$	$9,481 \cdot 10^{-4}$	$8,704 \cdot 10^{-4}$	$5,73 \cdot 10^{-4}$
Tc-96	$1,81 \cdot 10^{-9}$	$3,043 \cdot 10^{-10}$	$3,687 \cdot 10^{-4}$	$4,958 \cdot 10^{-5}$	$1,275 \cdot 10^{-5}$	$1,714 \cdot 10^{-6}$
Tc-96m	-	-	$1,813 \cdot 10^{-14}$	$1,864 \cdot 10^{-15}$	-	-
Tc-97	0,013	1,153	$2,043 \cdot 10^{-3}$	0,148	$1,532 \cdot 10^{-3}$	0,111
Tc-97m	$5,706 \cdot 10^{-3}$	$6,457 \cdot 10^{-3}$	$1,57 \cdot 10^{-3}$	$1,422 \cdot 10^{-3}$	$1,012 \cdot 10^{-3}$	$9,164 \cdot 10^{-4}$
Tc-98	0,013	1,153	$2,043 \cdot 10^{-3}$	0,148	$1,532 \cdot 10^{-3}$	0,111
Tc-99	0,013	1,152	$2,043 \cdot 10^{-3}$	0,148	$1,532 \cdot 10^{-3}$	0,111
Tc-99m	-	-	$2,064 \cdot 10^{-6}$	$2,155 \cdot 10^{-7}$	-	-
Ru-94	-	-	$6,12 \cdot 10^{-16}$	$1,573 \cdot 10^{-19}$	-	-
Ru-97	$1,293 \cdot 10^{-12}$	$2,004 \cdot 10^{-15}$	$7,523 \cdot 10^{-6}$	$2,333 \cdot 10^{-9}$	$1,002 \cdot 10^{-4}$	$3,108 \cdot 10^{-8}$
Ru-103	$2,156 \cdot 10^{-3}$	$1,22 \cdot 10^{-5}$	$3,789 \cdot 10^{-5}$	$4,288 \cdot 10^{-8}$	0,034	$3,833 \cdot 10^{-5}$
Ru-105	-	-	$1,716 \cdot 10^{-8}$	$4,459 \cdot 10^{-12}$	-	-
Ru-106	0,011	$4,725 \cdot 10^{-4}$	$5,709 \cdot 10^{-5}$	$5,113 \cdot 10^{-7}$	0,069	$6,166 \cdot 10^{-4}$
Rh-99	$1,676 \cdot 10^{-4}$	$1,971 \cdot 10^{-6}$	$4,474 \cdot 10^{-4}$	$2,631 \cdot 10^{-6}$	$5,893 \cdot 10^{-4}$	$3,466 \cdot 10^{-6}$
Rh-99m	-	-	$3,722 \cdot 10^{-7}$	$9,679 \cdot 10^{-10}$	-	-
Rh-100	-	-	$2,434 \cdot 10^{-5}$	$6,632 \cdot 10^{-8}$	$1,836 \cdot 10^{-11}$	$5,003 \cdot 10^{-14}$

Радио- нуклид	Группа продуктов					
	Овощи		Молоко		Мясо	
	$K_1^{r,f}$	$K_2^{r,f}$	$K_1^{r,f}$	$K_2^{r,f}$	$K_1^{r,f}$	$K_2^{r,f}$
Rh-101	0,012	$6,715 \cdot 10^{-3}$	$9,983 \cdot 10^{-4}$	$2,788 \cdot 10^{-4}$	$2,961 \cdot 10^{-3}$	$8,269 \cdot 10^{-4}$
Rh-101m	$2,238 \cdot 10^{-9}$	$1,51 \cdot 10^{-11}$	$1,867 \cdot 10^{-4}$	$6,299 \cdot 10^{-7}$	$2,694 \cdot 10^{-5}$	$9,089 \cdot 10^{-8}$
Rh-102	0,012	$6,056 \cdot 10^{-3}$	$9,96 \cdot 10^{-4}$	$2,524 \cdot 10^{-4}$	$2,951 \cdot 10^{-3}$	$7,478 \cdot 10^{-4}$
Rh-102m	$9,098 \cdot 10^{-3}$	$9,312 \cdot 10^{-4}$	$9,04 \cdot 10^{-4}$	$4,626 \cdot 10^{-5}$	$2,545 \cdot 10^{-3}$	$1,302 \cdot 10^{-4}$
Rh-103m	-*	-	$4,87 \cdot 10^{-14}$	$1,252 \cdot 10^{-16}$	-	-
Rh-105	-	-	$5,525 \cdot 10^{-5}$	$1,567 \cdot 10^{-7}$	$2,175 \cdot 10^{-8}$	$6,168 \cdot 10^{-11}$
Rh-106m	-	-	$3,145 \cdot 10^{-9}$	$8,117 \cdot 10^{-12}$	-	-
Pd-100	$1,172 \cdot 10^{-10}$	$3,796 \cdot 10^{-13}$	$3,154 \cdot 10^{-5}$	$2,553 \cdot 10^{-8}$	$1,257 \cdot 10^{-6}$	$1,017 \cdot 10^{-9}$
Pd-101	-	-	$5,974 \cdot 10^{-7}$	$3,925 \cdot 10^{-10}$	-	-
Pd-103	$2,136 \cdot 10^{-4}$	$1,303 \cdot 10^{-6}$	$9,186 \cdot 10^{-5}$	$1,401 \cdot 10^{-7}$	$6,339 \cdot 10^{-5}$	$9,667 \cdot 10^{-8}$
Pd-107	0,013	0,023	$2,043 \cdot 10^{-4}$	$9,22 \cdot 10^{-5}$	$3,065 \cdot 10^{-4}$	$1,383 \cdot 10^{-4}$
Pd-109	-	-	$2,069 \cdot 10^{-6}$	$1,38 \cdot 10^{-9}$	$1,855 \cdot 10^{-16}$	$1,237 \cdot 10^{-19}$
Ag-103	-	-	$1,524 \cdot 10^{-13}$	$1,961 \cdot 10^{-17}$	-	-
Ag-104	-	-	$3,461 \cdot 10^{-13}$	$4,453 \cdot 10^{-17}$	-	-
Ag-104m	-	-	$3,543 \cdot 10^{-20}$	-	-	-
Ag-105	$2,322 \cdot 10^{-3}$	$2,722 \cdot 10^{-6}$	$1,281 \cdot 10^{-4}$	$7,506 \cdot 10^{-8}$	$4,18 \cdot 10^{-3}$	$2,45 \cdot 10^{-6}$
Ag-106m	$3,657 \cdot 10^{-6}$	$1,535 \cdot 10^{-9}$	$6,283 \cdot 10^{-5}$	$1,319 \cdot 10^{-8}$	$5,906 \cdot 10^{-4}$	$1,24 \cdot 10^{-7}$
Ag-108m	0,013	$2,123 \cdot 10^{-3}$	$2,042 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$9,187 \cdot 10^{-3}$	$7,649 \cdot 10^{-4}$
Ag-110m	$9,643 \cdot 10^{-3}$	$5,92 \cdot 10^{-5}$	$1,844 \cdot 10^{-4}$	$5,66 \cdot 10^{-7}$	$7,872 \cdot 10^{-3}$	$2,416 \cdot 10^{-5}$
Ag-111	$1,309 \cdot 10^{-6}$	$5,23 \cdot 10^{-10}$	$5,784 \cdot 10^{-5}$	$1,156 \cdot 10^{-8}$	$4,444 \cdot 10^{-4}$	$8,88 \cdot 10^{-8}$
Ag-112	-	-	$8,27 \cdot 10^{-9}$	$1,07 \cdot 10^{-12}$	-	-
Cd-104	-	-	$3,259 \cdot 10^{-12}$	$2,095 \cdot 10^{-14}$	-	-
Cd-107	-	-	$5,429 \cdot 10^{-5}$	$3,548 \cdot 10^{-7}$	-	-
Cd-109	0,011	$6,166 \cdot 10^{-3}$	0,039	0,011	$1,407 \cdot 10^{-3}$	$3,953 \cdot 10^{-4}$
Cd-113	0,013	0,114	0,041	0,183	$1,532 \cdot 10^{-3}$	$6,867 \cdot 10^{-3}$
Cd-113m	0,013	0,058	0,041	0,094	$1,52 \cdot 10^{-3}$	$3,519 \cdot 10^{-3}$
Cd-115	$1,564 \cdot 10^{-15}$	$2,328 \cdot 10^{-17}$	$3,734 \cdot 10^{-3}$	$2,778 \cdot 10^{-5}$	$3,789 \cdot 10^{-7}$	$2,819 \cdot 10^{-9}$
Cd-115m	$2,663 \cdot 10^{-3}$	$1,674 \cdot 10^{-4}$	0,026	$8,268 \cdot 10^{-4}$	$7,342 \cdot 10^{-4}$	$2,308 \cdot 10^{-5}$
Cd-117	-	-	$3,432 \cdot 10^{-7}$	$2,216 \cdot 10^{-9}$	-	-
Cd-117m	-	-	$2,605 \cdot 10^{-6}$	$1,687 \cdot 10^{-8}$	-	-
In-109	-	-	$8,743 \cdot 10^{-8}$	$1,135 \cdot 10^{-11}$	-	-
In-110l	-	-	$1,792 \cdot 10^{-7}$	$2,332 \cdot 10^{-11}$	-	-
In-110s	-	-	$6,77 \cdot 10^{-13}$	$8,71 \cdot 10^{-17}$	-	-
In-111	$7,441 \cdot 10^{-13}$	$6,894 \cdot 10^{-17}$	$4,886 \cdot 10^{-5}$	$7,543 \cdot 10^{-9}$	$6,982 \cdot 10^{-6}$	$1,078 \cdot 10^{-9}$
In-113m	-	-	$8,016 \cdot 10^{-11}$	$1,033 \cdot 10^{-14}$	-	-
In-114m	$3,109 \cdot 10^{-3}$	$1,281 \cdot 10^{-6}$	$2,715 \cdot 10^{-4}$	$1,865 \cdot 10^{-7}$	$3,121 \cdot 10^{-3}$	$2,144 \cdot 10^{-6}$
In-115	0,013	$6,967 \cdot 10^{-4}$	$4,087 \cdot 10^{-4}$	$3,716 \cdot 10^{-5}$	$6,13 \cdot 10^{-3}$	$5,574 \cdot 10^{-4}$
In-115m	-	-	$1,201 \cdot 10^{-7}$	$1,561 \cdot 10^{-11}$	-	-
In-116m	-*	-	$9,842 \cdot 10^{-15}$	$1,265 \cdot 10^{-18}$	-	-
In-117	-	-	$1,022 \cdot 10^{-16}$	$1,313 \cdot 10^{-20}$	-	-
In-117m	-	-	$4,063 \cdot 10^{-10}$	$5,239 \cdot 10^{-14}$	-	-
Sn-110	-	-	$3,417 \cdot 10^{-7}$	$4,434 \cdot 10^{-10}$	-	-
Sn-111	-	-	$1,706 \cdot 10^{-18}$	-	-	-
Sn-113	$6,943 \cdot 10^{-3}$	$6,106 \cdot 10^{-4}$	$1,66 \cdot 10^{-3}$	$2,434 \cdot 10^{-5}$	0,011	$1,628 \cdot 10^{-4}$
Sn-117m	$7,918 \cdot 10^{-5}$	$1,268 \cdot 10^{-6}$	$8,284 \cdot 10^{-4}$	$2,212 \cdot 10^{-6}$	$2,361 \cdot 10^{-3}$	$6,303 \cdot 10^{-6}$
Sn-119m	0,01	$2,16 \cdot 10^{-3}$	$1,87 \cdot 10^{-3}$	$6,701 \cdot 10^{-5}$	0,013	$4,805 \cdot 10^{-4}$
Sn-121	-	-	$7,488 \cdot 10^{-5}$	$1,038 \cdot 10^{-7}$	$4,75 \cdot 10^{-9}$	$6,585 \cdot 10^{-12}$
Sn-121m	0,013	0,057	$2,041 \cdot 10^{-3}$	$1,534 \cdot 10^{-3}$	0,015	0,011
Sn-123	$7,42 \cdot 10^{-3}$	$7,272 \cdot 10^{-4}$	$1,694 \cdot 10^{-3}$	$2,767 \cdot 10^{-5}$	0,011	$1,874 \cdot 10^{-4}$

Радио- нуклид	Группа продуктов					
	Овощи		Молоко		Мясо	
	$K_1^{r,f}$	$K_2^{r,f}$	$K_1^{r,f}$	$K_2^{r,f}$	$K_1^{r,f}$	$K_2^{r,f}$
Sn-123m	-	-	$5,642 \cdot 10^{-17}$	$7,248 \cdot 10^{-20}$	-	-
Sn-125	$1,016 \cdot 10^{-5}$	$1,36 \cdot 10^{-7}$	$6,851 \cdot 10^{-4}$	$1,528 \cdot 10^{-6}$	$1,311 \cdot 10^{-3}$	$2,924 \cdot 10^{-6}$
Sn-126	0,013	0,069	$2,043 \cdot 10^{-3}$	$1,844 \cdot 10^{-3}$	0,015	0,014
Sn-127	-	-	$4,189 \cdot 10^{-9}$	$5,405 \cdot 10^{-12}$	-	-
Sn-128	-	-	$2,514 \cdot 10^{-13}$	$3,233 \cdot 10^{-16}$	-	-
Sb-115	-	-	$1,71 \cdot 10^{-20}$	-	-	-
Sb-116m	-	-	$8,975 \cdot 10^{-14}$	$1,154 \cdot 10^{-17}$	-	-
Sb-117	-	-	$1,01 \cdot 10^{-8}$	$1,305 \cdot 10^{-12}$	-	-
Sb-118m	-	-	$2,446 \cdot 10^{-7}$	$3,183 \cdot 10^{-11}$	-	-
Sb-119	$1,45 \cdot 10^{-20}$	-	$3,056 \cdot 10^{-5}$	$4,367 \cdot 10^{-9}$	$1,144 \cdot 10^{-7}$	$1,634 \cdot 10^{-11}$
Sb-120	$9,491 \cdot 10^{-8}$	$3,466 \cdot 10^{-12}$	$1,191 \cdot 10^{-4}$	$2,174 \cdot 10^{-8}$	$1,815 \cdot 10^{-4}$	$3,314 \cdot 10^{-8}$
Sb-122	$2,476 \cdot 10^{-13}$	$7,585 \cdot 10^{-18}$	$5,804 \cdot 10^{-5}$	$8,891 \cdot 10^{-9}$	$6,629 \cdot 10^{-6}$	$1,015 \cdot 10^{-9}$
Sb-124	$3,992 \cdot 10^{-3}$	$6,494 \cdot 10^{-7}$	$3,588 \cdot 10^{-4}$	$2,918 \cdot 10^{-7}$	$4,324 \cdot 10^{-3}$	$3,517 \cdot 10^{-6}$
Sb-125	0,012	$2,885 \cdot 10^{-5}$	$4,974 \cdot 10^{-4}$	$6,023 \cdot 10^{-6}$	$7,364 \cdot 10^{-3}$	$8,918 \cdot 10^{-5}$
Sb-126	$4,859 \cdot 10^{-5}$	$2,463 \cdot 10^{-9}$	$1,975 \cdot 10^{-4}$	$5,005 \cdot 10^{-8}$	$1,024 \cdot 10^{-3}$	$2,596 \cdot 10^{-7}$
Sb-127	$3,277 \cdot 10^{-10}$	$1,075 \cdot 10^{-14}$	$8,348 \cdot 10^{-5}$	$1,369 \cdot 10^{-8}$	$4,093 \cdot 10^{-5}$	$6,712 \cdot 10^{-9}$
Sb-128	-	-	$1,915 \cdot 10^{-6}$	$2,522 \cdot 10^{-10}$	$1,671 \cdot 10^{-20}$	-
Sb-129	-	-	$1,254 \cdot 10^{-7}$	$1,629 \cdot 10^{-11}$	-	-
Sb-130	-	-	$1,339 \cdot 10^{-17}$	-	-	-
Te-116	-	-	$8,579 \cdot 10^{-8}$	$1,108 \cdot 10^{-9}$	-	-
Te-121	$2,156 \cdot 10^{-4}$	$1,317 \cdot 10^{-5}$	$4,598 \cdot 10^{-3}$	$1,405 \cdot 10^{-4}$	0,022	$6,797 \cdot 10^{-4}$
Te-121m	$8,097 \cdot 10^{-3}$	$3,123 \cdot 10^{-3}$	$8,703 \cdot 10^{-3}$	$1,678 \cdot 10^{-3}$	0,084	0,016
Te-123	0,013	0,231	0,01	0,092	0,107	0,968
Te-123m	$7,108 \cdot 10^{-3}$	$2,161 \cdot 10^{-3}$	$8,36 \cdot 10^{-3}$	$1,271 \cdot 10^{-3}$	0,079	0,012
Te-125m	$3,82 \cdot 10^{-3}$	$6,015 \cdot 10^{-4}$	$7,103 \cdot 10^{-3}$	$5,592 \cdot 10^{-4}$	0,059	$4,679 \cdot 10^{-3}$
Te-127	*	-	$4,247 \cdot 10^{-5}$	$5,598 \cdot 10^{-7}$	$9,29 \cdot 10^{-19}$	$1,224 \cdot 10^{-20}$
Te-127m	$6,711 \cdot 10^{-3}$	$1,87 \cdot 10^{-3}$	$8,219 \cdot 10^{-3}$	$1,145 \cdot 10^{-3}$	0,076	0,011
Te-129	-	-	$1,891 \cdot 10^{-11}$	$2,433 \cdot 10^{-13}$	-	-
Te-129m	$1,599 \cdot 10^{-3}$	$1,596 \cdot 10^{-4}$	$5,993 \cdot 10^{-3}$	$2,99 \cdot 10^{-4}$	0,043	$2,121 \cdot 10^{-3}$
Te-131m	-	-	$4,373 \cdot 10^{-4}$	$6,112 \cdot 10^{-6}$	$1,22 \cdot 10^{-7}$	$1,705 \cdot 10^{-9}$
Te-132	$1,514 \cdot 10^{-11}$	$4,798 \cdot 10^{-13}$	$1,416 \cdot 10^{-3}$	$2,242 \cdot 10^{-5}$	$2,611 \cdot 10^{-4}$	$4,135 \cdot 10^{-6}$
Te-133m	-	-	$3,815 \cdot 10^{-13}$	$4,905 \cdot 10^{-15}$	-	-
Te-134	-	-	$8,198 \cdot 10^{-16}$	$1,053 \cdot 10^{-17}$	-	-
I-120	-	-	$1,655 \cdot 10^{-8}$	$2,131 \cdot 10^{-12}$	-	-
I-120m	-	-	$1,614 \cdot 10^{-11}$	$2,075 \cdot 10^{-15}$	-	-
I-121	-	-	$2,279 \cdot 10^{-6}$	$2,94 \cdot 10^{-10}$	-	-
I-123	-	-	$9,962 \cdot 10^{-3}$	$1,328 \cdot 10^{-6}$	$2,98 \cdot 10^{-14}$	$3,972 \cdot 10^{-18}$
I-124	$1,255 \cdot 10^{-9}$	$8,388 \cdot 10^{-13}$	0,18	$3,015 \cdot 10^{-5}$	$5,794 \cdot 10^{-4}$	$9,683 \cdot 10^{-8}$
I-125	$3,987 \cdot 10^{-3}$	$1,296 \cdot 10^{-5}$	0,717	$5,83 \cdot 10^{-4}$	0,043	$3,513 \cdot 10^{-5}$
I-126	$6,31 \cdot 10^{-3}$	$6,572 \cdot 10^{-8}$	0,405	$1,055 \cdot 10^{-4}$	0,011	$2,877 \cdot 10^{-6}$
I-129	0,013	$4,61 \cdot 10^{-3}$	1,022	0,092	0,077	$6,915 \cdot 10^{-3}$
I-130	-	-	$8,583 \cdot 10^{-3}$	$1,141 \cdot 10^{-6}$	$5,044 \cdot 10^{-15}$	$6,706 \cdot 10^{-19}$
I-131	$2,532 \cdot 10^{-6}$	$2,087 \cdot 10^{-9}$	0,305	$6,28 \cdot 10^{-5}$	$4,444 \cdot 10^{-3}$	$9,155 \cdot 10^{-7}$
I-132	-	-	$4,566 \cdot 10^{-6}$	$5,894 \cdot 10^{-10}$	-	-
I-132m	-	-	$2,506 \cdot 10^{-8}$	$3,227 \cdot 10^{-12}$	-	-
I-133	-	-	0,024	$3,316 \cdot 10^{-6}$	$4,591 \cdot 10^{-10}$	$6,254 \cdot 10^{-14}$
I-134	-	-	$1,389 \cdot 10^{-11}$	$1,785 \cdot 10^{-15}$	-	-
I-135	-	-	$1,448 \cdot 10^{-3}$	$1,893 \cdot 10^{-7}$	-	-
Cs-125	-	-	$9,641 \cdot 10^{-14}$	$2,478 \cdot 10^{-15}$	-	-

Радио- нуклид	Группа продуктов					
	Овощи		Молоко		Мясо	
	$K_1^{r,f}$	$K_2^{r,f}$	$K_1^{r,f}$	$K_2^{r,f}$	$K_1^{r,f}$	$K_2^{r,f}$
Cs-127	-	-	$2,371 \cdot 10^{-4}$	$6,192 \cdot 10^{-6}$	-	-
Cs-129	-	-	$9,631 \cdot 10^{-3}$	$2,707 \cdot 10^{-4}$	$1,133 \cdot 10^{-6}$	$3,184 \cdot 10^{-8}$
Cs-130	-	-	$8,752 \cdot 10^{-19}$	$2,247 \cdot 10^{-20}$	-	-
Cs-131	$1,054 \cdot 10^{-3}$	$1,411 \cdot 10^{-7}$	0,069	$3,068 \cdot 10^{-3}$	0,04	$1,773 \cdot 10^{-3}$
Cs-132	$3,394 \cdot 10^{-7}$	$3,86 \cdot 10^{-9}$	0,052	$1,979 \cdot 10^{-3}$	0,015	$5,824 \cdot 10^{-4}$
Cs-134	0,012	$5,479 \cdot 10^{-3}$	0,197	0,31	0,436	0,685
Cs-134m	-	-	$5,133 \cdot 10^{-6}$	$1,328 \cdot 10^{-7}$	-	-
Cs-135	0,013	0,035	0,204	1,888	0,46	4,248
Cs-135m	-	-	$3,229 \cdot 10^{-12}$	$8,301 \cdot 10^{-14}$	-	-
Cs-136	$6,515 \cdot 10^{-5}$	$1,019 \cdot 10^{-6}$	0,081	$4,235 \cdot 10^{-3}$	0,067	$3,487 \cdot 10^{-3}$
Cs-137	0,013	0,028	0,204	1,476	0,458	3,318
Cs-138	-	-	$1,023 \cdot 10^{-17}$	$2,627 \cdot 10^{-19}$	-	-
Ba-126	-	-	$1,426 \cdot 10^{-9}$	$1,837 \cdot 10^{-13}$	-	-
Ba-128	$1,739 \cdot 10^{-14}$	$2,62 \cdot 10^{-17}$	$1,032 \cdot 10^{-3}$	$1,555 \cdot 10^{-7}$	$1,371 \cdot 10^{-6}$	$2,066 \cdot 10^{-10}$
Ba-131	$3,677 \cdot 10^{-5}$	$9,074 \cdot 10^{-8}$	$3,847 \cdot 10^{-3}$	$9,493 \cdot 10^{-7}$	$3,78 \cdot 10^{-4}$	$9,329 \cdot 10^{-8}$
Ba-133	0,013	$5,013 \cdot 10^{-3}$	0,01	$4,055 \cdot 10^{-4}$	$3,033 \cdot 10^{-3}$	$1,212 \cdot 10^{-4}$
Ba-133m	$3,315 \cdot 10^{-20}$	-	$6,283 \cdot 10^{-4}$	$8,997 \cdot 10^{-8}$	$5,579 \cdot 10^{-8}$	$7,988 \cdot 10^{-12}$
Ba-135m	-	-	$4,094 \cdot 10^{-4}$	$5,702 \cdot 10^{-8}$	$2,025 \cdot 10^{-9}$	$2,82 \cdot 10^{-13}$
Ba-139	-	-	$2,177 \cdot 10^{10}$	$2,803 \cdot 10^{14}$	-	-
Ba-140	$5,625 \cdot 10^{-5}$	$1,447 \cdot 10^{-7}$	$4,006 \cdot 10^{-3}$	$1,03 \cdot 10^{-6}$	$4,274 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-7}$
Ce-134	$2,723 \cdot 10^{-12}$	$4,247 \cdot 10^{-15}$	$7,797 \cdot 10^{-5}$	$1,216 \cdot 10^{-8}$	$4,835 \cdot 10^{-7}$	$7,542 \cdot 10^{-11}$
Ce-135	-	-	$1,078 \cdot 10^{-5}$	$1,456 \cdot 10^{-9}$	$8,557 \cdot 10^{-14}$	$1,155 \cdot 10^{-17}$
Ce-137	-	-	$2,291 \cdot 10^{-6}$	$3,017 \cdot 10^{-10}$	-	-
Ce-137m	-	-	$3,191 \cdot 10^{-5}$	$4,514 \cdot 10^{-9}$	$1,631 \cdot 10^{-9}$	$2,308 \cdot 10^{-13}$
Ce-139	$7,671 \cdot 10^{-3}$	$1,33 \cdot 10^{-4}$	$5,134 \cdot 10^{-4}$	$8,902 \cdot 10^{-7}$	$2,333 \cdot 10^{-4}$	$4,045 \cdot 10^{-7}$
Ce-141	$1,491 \cdot 10^{-3}$	$7,248 \cdot 10^{-6}$	$3,554 \cdot 10^{-4}$	$1,727 \cdot 10^{-7}$	$1,185 \cdot 10^{-4}$	$5,759 \cdot 10^{-8}$
Ce-143	-	-	$3,011 \cdot 10^{-5}$	$4,242 \cdot 10^{-9}$	$1,042 \cdot 10^{-9}$	$1,469 \cdot 10^{-13}$
Ce-144	$9,976 \cdot 10^{-3}$	$3,47 \cdot 10^{-4}$	$5,597 \cdot 10^{-4}$	$1,947 \cdot 10^{-6}$	$2,672 \cdot 10^{-4}$	$9,295 \cdot 10^{-7}$
Pm-143	$9,798 \cdot 10^{-3}$	$1,273 \cdot 10^{-5}$	$1,112 \cdot 10^{-4}$	$3,615 \cdot 10^{-7}$	$2,646 \cdot 10^{-3}$	$8,598 \cdot 10^{-6}$
Pm-144	0,011	$1,859 \cdot 10^{-5}$	$1,141 \cdot 10^{-4}$	$5,037 \cdot 10^{-7}$	$2,75 \cdot 10^{-3}$	$1,214 \cdot 10^{-5}$
Pm-145	0,013	$2,686 \cdot 10^{-4}$	$1,221 \cdot 10^{-4}$	$6,489 \cdot 10^{-6}$	$3,046 \cdot 10^{-3}$	$1,619 \cdot 10^{-4}$
Pm-146	0,012	$1,163 \cdot 10^{-4}$	$1,21 \cdot 10^{-4}$	$2,852 \cdot 10^{-6}$	$3,004 \cdot 10^{-3}$	$7,083 \cdot 10^{-5}$
Pm-147	0,012	$5,447 \cdot 10^{-5}$	$1,192 \cdot 10^{-4}$	$1,368 \cdot 10^{-6}$	$2,939 \cdot 10^{-3}$	$3,373 \cdot 10^{-5}$
Pm-148	$4,117 \cdot 10^{-8}$	$2,943 \cdot 10^{-12}$	$2,698 \cdot 10^{-5}$	$4,822 \cdot 10^{-9}$	$5,807 \cdot 10^{-5}$	$1,038 \cdot 10^{-8}$
Pm-148m	$2,351 \cdot 10^{-3}$	$5,545 \cdot 10^{-7}$	$7,702 \cdot 10^{-5}$	$4,542 \cdot 10^{-8}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$8,254 \cdot 10^{-7}$
Pm-149	$1,272 \cdot 10^{-15}$	$7,565 \cdot 10^{-20}$	$1,111 \cdot 10^{-5}$	$1,652 \cdot 10^{-9}$	$7,203 \cdot 10^{-7}$	$1,071 \cdot 10^{-10}$
Pm-150	-	-	$1,778 \cdot 10^{-9}$	$2,298 \cdot 10^{-13}$	-	-
Pm-151	-	-	$4,836 \cdot 10^{-6}$	$6,73 \cdot 10^{-10}$	$1,774 \cdot 10^{-9}$	$2,469 \cdot 10^{-13}$
Eu-145	$1,346 \cdot 10^{-7}$	$9,924 \cdot 10^{-12}$	$2,929 \cdot 10^{-5}$	$5,4 \cdot 10^{-9}$	$7,975 \cdot 10^{-5}$	$1,47 \cdot 10^{-8}$
Eu-146	$5,433 \cdot 10^{-9}$	$3,722 \cdot 10^{-13}$	$2,366 \cdot 10^{-5}$	$4,052 \cdot 10^{-9}$	$3,398 \cdot 10^{-5}$	$5,82 \cdot 10^{-9}$
Eu-147	$7,018 \cdot 10^{-4}$	$1,085 \cdot 10^{-7}$	$6,361 \cdot 10^{-5}$	$2,458 \cdot 10^{-8}$	$9,186 \cdot 10^{-4}$	$3,55 \cdot 10^{-7}$
Eu-148	$3,536 \cdot 10^{-3}$	$1,055 \cdot 10^{-6}$	$8,376 \cdot 10^{-5}$	$6,247 \cdot 10^{-8}$	$1,644 \cdot 10^{-3}$	$1,227 \cdot 10^{-6}$
Eu-149	$6,014 \cdot 10^{-3}$	$2,897 \cdot 10^{-6}$	$9,56 \cdot 10^{-5}$	$1,151 \cdot 10^{-7}$	$2,075 \cdot 10^{-3}$	$2,498 \cdot 10^{-6}$
Eu-150l	0,013	$3,437 \cdot 10^{-4}$	$1,223 \cdot 10^{-4}$	$8,277 \cdot 10^{-6}$	$3,055 \cdot 10^{-3}$	$2,067 \cdot 10^{-4}$
Eu-150s	-	-	$1,08 \cdot 10^{-6}$	$1,438 \cdot 10^{-10}$	$3,584 \cdot 10^{-16}$	$4,769 \cdot 10^{-20}$
Eu-152	0,013	$2,304 \cdot 10^{-4}$	$1,219 \cdot 10^{-4}$	$5,58 \cdot 10^{-6}$	$3,04 \cdot 10^{-3}$	$1,391 \cdot 10^{-4}$
Eu-152m	-	-	$5,051 \cdot 10^{-7}$	$6,657 \cdot 10^{-11}$	$2,36 \cdot 10^{-20}$	-
Eu-154	0,012	$1,733 \cdot 10^{-4}$	$1,216 \cdot 10^{-4}$	$4,216 \cdot 10^{-6}$	$3,027 \cdot 10^{-3}$	$1,05 \cdot 10^{-4}$
Eu-155	0,012	$1,046 \cdot 10^{-4}$	$1,208 \cdot 10^{-4}$	$2,572 \cdot 10^{-6}$	$2,997 \cdot 10^{-3}$	$6,383 \cdot 10^{-5}$



Радио- нуклид	Группа продуктов					
	Овощи		Молоко		Мясо	
	$K_1^{r,f}$	$K_2^{r,f}$	$K_1^{r,f}$	$K_2^{r,f}$	$K_1^{r,f}$	$K_2^{r,f}$
Eu-156	$1,334 \cdot 10^{-4}$	$1,52 \cdot 10^{-8}$	$5,241 \cdot 10^{-5}$	$1,493 \cdot 10^{-8}$	$5,506 \cdot 10^{-4}$	$1,568 \cdot 10^{-7}$
Eu-157	-	-	$1,605 \cdot 10^{-6}$	$2,151 \cdot 10^{-10}$	$3,488 \cdot 10^{-14}$	$4,676 \cdot 10^{-18}$
Eu-158	-*	-	$9,115 \cdot 10^{-17}$	$1,171 \cdot 10^{-20}$	-	-
Au-193	-	-	$3,614 \cdot 10^{-7}$	$1,952 \cdot 10^{-10}$	$2,263 \cdot 10^{-12}$	$1,222 \cdot 10^{-15}$
Au-194	$6,029 \cdot 10^{-20}$	-	$1,282 \cdot 10^{-6}$	$7,356 \cdot 10^{-10}$	$1,61 \cdot 10^{-7}$	$9,237 \cdot 10^{-11}$
Au-195	$8,702 \cdot 10^{-3}$	$3,957 \cdot 10^{-4}$	$1,782 \cdot 10^{-5}$	$1,62 \cdot 10^{-7}$	$6,217 \cdot 10^{-3}$	$5,653 \cdot 10^{-5}$
Au-198	$2,389 \cdot 10^{-13}$	$7,319 \cdot 10^{-16}$	$2,318 \cdot 10^{-6}$	$1,42 \cdot 10^{-9}$	$6,57 \cdot 10^{-6}$	$4,025 \cdot 10^{-9}$
Au-198m	$3,887 \cdot 10^{-15}$	$1,162 \cdot 10^{-17}$	$1,938 \cdot 10^{-6}$	$1,159 \cdot 10^{-9}$	$2,369 \cdot 10^{-6}$	$1,417 \cdot 10^{-9}$
Au-199	$7,096 \cdot 10^{-12}$	$2,232 \cdot 10^{-14}$	$2,725 \cdot 10^{-6}$	$1,714 \cdot 10^{-9}$	$1,539 \cdot 10^{-5}$	$9,683 \cdot 10^{-9}$
Au-200	-	-	$4,925 \cdot 10^{-17}$	$2,532 \cdot 10^{-20}$	-	-
Au-200m	-	-	$4,025 \cdot 10^{-7}$	$2,18 \cdot 10^{-10}$	$6,889 \cdot 10^{-12}$	$3,731 \cdot 10^{-15}$
Hg-193	-	-	$8,266 \cdot 10^{-8}$	$3,213 \cdot 10^{-10}$	-	-
Hg-193m	-	-	$6,64 \cdot 10^{-6}$	$2,639 \cdot 10^{-8}$	$4,282 \cdot 10^{-17}$	$1,702 \cdot 10^{-19}$
Hg-194	0,013	0,066	$1,021 \cdot 10^{-3}$	$2,658 \cdot 10^{-3}$	0,015	0,04
Hg-195	-	-	$4,956 \cdot 10^{-6}$	$1,963 \cdot 10^{-8}$	$1,013 \cdot 10^{-18}$	-
Hg-195m	$4,279 \cdot 10^{-19}$	-	$6,859 \cdot 10^{-5}$	$2,968 \cdot 10^{-7}$	$5,159 \cdot 10^{-7}$	$2,232 \cdot 10^{-9}$
Hg-197	$1,906 \cdot 10^{-13}$	$1,749 \cdot 10^{-15}$	$1,147 \cdot 10^{-4}$	$5,262 \cdot 10^{-7}$	$1,242 \cdot 10^{-5}$	$5,698 \cdot 10^{-8}$
Hg-197m	-	-	$3,055 \cdot 10^{-5}$	$1,259 \cdot 10^{-7}$	$7,824 \cdot 10^{-10}$	$3,225 \cdot 10^{-12}$
Hg-199m	-	-	$1,308 \cdot 10^{-16}$	$5,042 \cdot 10^{-19}$	-	-
Hg-203	$2,847 \cdot 10^{-3}$	$1,114 \cdot 10^{-4}$	$6,665 \cdot 10^{-4}$	$1,304 \cdot 10^{-5}$	$7,536 \cdot 10^{-3}$	$1,475 \cdot 10^{-4}$
Tl-194	-	-	$6,667 \cdot 10^{-19}$	-	-	-
Tl-194m	-	-	$5,51 \cdot 10^{-19}$	-	-	-
Tl-195	-	-	$1,135 \cdot 10^{-11}$	$2,92 \cdot 10^{-14}$	-	-
Tl-197	-	-	$1,336 \cdot 10^{-7}$	$3,455 \cdot 10^{-10}$	-	-
Tl-198	-	-	$3,753 \cdot 10^{-6}$	$9,777 \cdot 10^{-9}$	-	-
Tl-198m	-	-	$4,227 \cdot 10^{-9}$	$1,09 \cdot 10^{-11}$	-	-
Tl-199	-	-	$1,28 \cdot 10^{-5}$	$3,356 \cdot 10^{-8}$	-	-
Tl-200	-	-	$2,124 \cdot 10^{-4}$	$5,874 \cdot 10^{-7}$	$5,845 \cdot 10^{-9}$	$1,616 \cdot 10^{-11}$
Tl-201	$3,722 \cdot 10^{-12}$	$2,328 \cdot 10^{-13}$	$7,917 \cdot 10^{-4}$	$2,476 \cdot 10^{-6}$	$5,231 \cdot 10^{-5}$	$1,636 \cdot 10^{-7}$
Tl-202	$4,502 \cdot 10^{-5}$	$4,53 \cdot 10^{-6}$	$2,353 \cdot 10^{-3}$	$1,184 \cdot 10^{-5}$	$4,007 \cdot 10^{-3}$	$2,016 \cdot 10^{-5}$
Tl-204	0,012	0,08	$6,011 \cdot 10^{-3}$	$1,975 \cdot 10^{-3}$	0,03	$9,781 \cdot 10^{-3}$
Pb-198	-	-	$3,863 \cdot 10^{-9}$	$4,988 \cdot 10^{-13}$	-	-
Pb-199	-	-	$3,783 \cdot 10^{-11}$	$4,871 \cdot 10^{-15}$	-	-
Pb-200	-	-	$1,546 \cdot 10^{-5}$	$2,111 \cdot 10^{-9}$	$1,116 \cdot 10^{-11}$	$1,524 \cdot 10^{-15}$
Pb-201	-	-	$2,586 \cdot 10^{-6}$	$3,409 \cdot 10^{-10}$	$1,128 \cdot 10^{-20}$	-
Pb-202	0,013	$4,61 \cdot 10^{-3}$	$6,13 \cdot 10^{-4}$	$5,532 \cdot 10^{-5}$	$1,073 \cdot 10^{-3}$	$9,681 \cdot 10^{-5}$
Pb-202m	-	-	$6,003 \cdot 10^{-8}$	$7,78 \cdot 10^{-12}$	-	-
Pb-203	$7,158 \cdot 10^{-16}$	$4,245 \cdot 10^{-19}$	$5,428 \cdot 10^{-5}$	$8,047 \cdot 10^{-9}$	$2,19 \cdot 10^{-7}$	$3,247 \cdot 10^{-11}$
Pb-205	0,013	$4,61 \cdot 10^{-3}$	$6,13 \cdot 10^{-4}$	$5,532 \cdot 10^{-5}$	$1,073 \cdot 10^{-3}$	$9,681 \cdot 10^{-5}$
Pb-209	-	-	$3,216 \cdot 10^{-8}$	$4,163 \cdot 10^{-12}$	-	-
Pb-210	0,013	$2,975 \cdot 10^{-3}$	$6,109 \cdot 10^{-4}$	$3,589 \cdot 10^{-5}$	$1,067 \cdot 10^{-3}$	$6,271 \cdot 10^{-5}$
Pb-211	-*	-	$9,792 \cdot 10^{-19}$	-	-	-
Pb-212	-	-	$3,584 \cdot 10^{-6}$	$4,742 \cdot 10^{-10}$	$7,873 \cdot 10^{-19}$	-
Bi-200	-	-	$4,133 \cdot 10^{-18}$	-	-	-
Bi-201	-	-	$9,599 \cdot 10^{-10}$	$6,186 \cdot 10^{-13}$	-	-
Bi-202	-	-	$4,339 \cdot 10^{-10}$	$2,795 \cdot 10^{-13}$	-	-
Bi-203	-	-	$1,528 \cdot 10^{-5}$	$1,014 \cdot 10^{-8}$	$4,869 \cdot 10^{-17}$	$3,232 \cdot 10^{-20}$
Bi-205	$1,382 \cdot 10^{-4}$	$7,912 \cdot 10^{-7}$	$8,768 \cdot 10^{-4}$	$1,255 \cdot 10^{-6}$	$5,564 \cdot 10^{-4}$	$7,963 \cdot 10^{-7}$
Bi-206	$2,316 \cdot 10^{-7}$	$8,682 \cdot 10^{-10}$	$5,075 \cdot 10^{-4}$	$4,756 \cdot 10^{-7}$	$9,234 \cdot 10^{-5}$	$8,654 \cdot 10^{-8}$

Радио- нуклид	Группа продуктов					
	Овощи		Молоко		Мясо	
	$K_1^{r,f}$	$K_2^{r,f}$	$K_1^{r,f}$	$K_2^{r,f}$	$K_1^{r,f}$	$K_2^{r,f}$
Bi-207	0,013	0,018	$2,039 \cdot 10^{-3}$	$7,091 \cdot 10^{-4}$	$3,056 \cdot 10^{-3}$	$1,063 \cdot 10^{-3}$
Bi-210	$1,71 \cdot 10^{-8}$	$5,989 \cdot 10^{-11}$	$4,242 \cdot 10^{-4}$	$3,716 \cdot 10^{-7}$	$4,598 \cdot 10^{-5}$	$4,027 \cdot 10^{-8}$
Bi-210m	0,013	0,023	$2,043 \cdot 10^{-3}$	$9,22 \cdot 10^{-4}$	$3,065 \cdot 10^{-3}$	$1,383 \cdot 10^{-3}$
Bi-212	-	-	$3,86 \cdot 10^{-13}$	$2,482 \cdot 10^{-16}$	-	-
Bi-213	-	-	$1,341 \cdot 10^{-15}$	$8,617 \cdot 10^{-19}$	-	-
Po-203	-	-	$1,564 \cdot 10^{-17}$	-	-	-
Po-205	-	-	$2,88 \cdot 10^{-9}$	$3,712 \cdot 10^{-13}$	-	-
Po-207	-	-	$5,495 \cdot 10^{-6}$	$7,169 \cdot 10^{-10}$	-	-
Po-210	$7,692 \cdot 10^{-3}$	$5,361 \cdot 10^{-6}$	$5,138 \cdot 10^{-3}$	$8,953 \cdot 10^{-6}$	$5,84 \cdot 10^{-3}$	$1,018 \cdot 10^{-5}$
At-207	-	-	$9,599 \cdot 10^{-9}$	$1,114 \cdot 10^{-11}$	-	-
At-211	-	-	$3,894 \cdot 10^{-5}$	$4,59 \cdot 10^{-8}$	-	-
Ra-223	$3,058 \cdot 10^{-5}$	$5,939 \cdot 10^{-8}$	$7,562 \cdot 10^{-4}$	$7,343 \cdot 10^{-7}$	$8,963 \cdot 10^{-4}$	$8,703 \cdot 10^{-7}$
Ra-224	$1,358 \cdot 10^{-10}$	$1,762 \cdot 10^{-13}$	$3,18 \cdot 10^{-4}$	$2,063 \cdot 10^{-7}$	$3,263 \cdot 10^{-5}$	$2,117 \cdot 10^{-8}$
Ra-225	$1,185 \cdot 10^{-4}$	$2,659 \cdot 10^{-7}$	$8,629 \cdot 10^{-4}$	$9,679 \cdot 10^{-7}$	$1,329 \cdot 10^{-3}$	$1,491 \cdot 10^{-6}$
Ra-226	0,013	$9,16 \cdot 10^{-3}$	$2,043 \cdot 10^{-3}$	$7,328 \cdot 10^{-4}$	$7,662 \cdot 10^{-3}$	$2,748 \cdot 10^{-3}$
Ra-227	-	-	$2,076 \cdot 10^{-16}$	$1,067 \cdot 10^{-19}$	-	-
Ra-228	0,012	$2,408 \cdot 10^{-3}$	$2,017 \cdot 10^{-3}$	$1,967 \cdot 10^{-4}$	$7,517 \cdot 10^{-3}$	$7,329 \cdot 10^{-4}$
Ac-224	-	-	$1,027 \cdot 10^{-10}$	$1,328 \cdot 10^{-14}$	-	-
Ac-225	$1,308 \cdot 10^{-5}$	$5,938 \cdot 10^{-10}$	$1,401 \cdot 10^{-6}$	$3,18 \cdot 10^{-10}$	$2,815 \cdot 10^{-6}$	$6,39 \cdot 10^{-10}$
Ac-226	-	-	$1,663 \cdot 10^{-7}$	$2,319 \cdot 10^{-11}$	$2,305 \cdot 10^{-11}$	$3,212 \cdot 10^{-15}$
Ac-227	0,013	$1,473 \cdot 10^{-4}$	$4,073 \cdot 10^{-6}$	$2,37 \cdot 10^{-7}$	$3,049 \cdot 10^{-5}$	$1,775 \cdot 10^{-6}$
Ac-228	-	-	$4,416 \cdot 10^{-9}$	$5,765 \cdot 10^{-13}$	-	-
Th-227	$3,123 \cdot 10^{-4}$	$2,031 \cdot 10^{-8}$	$4,794 \cdot 10^{-6}$	$1,559 \cdot 10^{-9}$	$3,558 \cdot 10^{-5}$	$1,157 \cdot 10^{-8}$
Th-228	0,012	$1,939 \cdot 10^{-5}$	$9,833 \cdot 10^{-6}$	$8,257 \cdot 10^{-8}$	$1,447 \cdot 10^{-4}$	$1,215 \cdot 10^{-6}$
Th-229	0,013	$2,302 \cdot 10^{-4}$	$1,022 \cdot 10^{-5}$	$9,207 \cdot 10^{-7}$	$1,532 \cdot 10^{-4}$	$1,381 \cdot 10^{-5}$
Th-230	0,013	$2,305 \cdot 10^{-4}$	$1,022 \cdot 10^{-5}$	$9,219 \cdot 10^{-7}$	$1,532 \cdot 10^{-4}$	$1,383 \cdot 10^{-5}$
Th-231	-	-	$3,417 \cdot 10^{-7}$	$4,717 \cdot 10^{-11}$	$2,142 \cdot 10^{-11}$	$2,957 \cdot 10^{-15}$
Th-232	0,013	$2,305 \cdot 10^{-4}$	$1,022 \cdot 10^{-5}$	$9,222 \cdot 10^{-7}$	$1,532 \cdot 10^{-4}$	$1,383 \cdot 10^{-5}$
Th-234	$7,102 \cdot 10^{-4}$	$5,505 \cdot 10^{-8}$	$5,309 \cdot 10^{-6}$	$2,058 \cdot 10^{-9}$	$4,611 \cdot 10^{-5}$	$1,787 \cdot 10^{-8}$
Pa-227	-	-	$8,474 \cdot 10^{-20}$	-	-	-
Pa-228	-*	-	$2,68 \cdot 10^{-7}$	$3,664 \cdot 10^{-11}$	$1,158 \cdot 10^{-13}$	$1,583 \cdot 10^{-17}$
Pa-230	$2,366 \cdot 10^{-4}$	$1,467 \cdot 10^{-7}$	$4,645 \cdot 10^{-6}$	$1,44 \cdot 10^{-9}$	$1,634 \cdot 10^{-6}$	$5,068 \cdot 10^{-10}$
Pa-231	0,013	$2,304 \cdot 10^{-3}$	$1,022 \cdot 10^{-5}$	$9,217 \cdot 10^{-7}$	$7,662 \cdot 10^{-6}$	$6,913 \cdot 10^{-7}$
Pa-232	-	-	$4,682 \cdot 10^{-7}$	$6,57 \cdot 10^{-11}$	$1,512 \cdot 10^{-11}$	$2,121 \cdot 10^{-15}$
Pa-233	$9,663 \cdot 10^{-4}$	$8,145 \cdot 10^{-7}$	$5,542 \cdot 10^{-6}$	$2,336 \cdot 10^{-9}$	$2,552 \cdot 10^{-6}$	$1,076 \cdot 10^{-9}$
Pa-234	-	-	$1,517 \cdot 10^{-8}$	$1,984 \cdot 10^{-12}$	-	-
U-230	$4,511 \cdot 10^{-4}$	$3,151 \cdot 10^{-7}$	$6,011 \cdot 10^{-4}$	$4,198 \cdot 10^{-7}$	$1,197 \cdot 10^{-3}$	$8,358 \cdot 10^{-7}$
U-231	$1,352 \cdot 10^{-9}$	$4,524 \cdot 10^{-13}$	$2,174 \cdot 10^{-4}$	$7,276 \cdot 10^{-8}$	$3,545 \cdot 10^{-5}$	$1,186 \cdot 10^{-8}$
U-232	0,013	$1,997 \cdot 10^{-3}$	$1,225 \cdot 10^{-3}$	$1,921 \cdot 10^{-4}$	$4,59 \cdot 10^{-3}$	$7,198 \cdot 10^{-4}$
U-233	0,013	$2,305 \cdot 10^{-3}$	$1,226 \cdot 10^{-3}$	$2,213 \cdot 10^{-4}$	$4,597 \cdot 10^{-3}$	$8,298 \cdot 10^{-4}$
U-234	0,013	$2,305 \cdot 10^{-3}$	$1,226 \cdot 10^{-3}$	$2,213 \cdot 10^{-4}$	$4,597 \cdot 10^{-3}$	$8,298 \cdot 10^{-4}$
U-235	0,013	$2,305 \cdot 10^{-3}$	$1,226 \cdot 10^{-3}$	$2,213 \cdot 10^{-4}$	$4,597 \cdot 10^{-3}$	$8,298 \cdot 10^{-4}$
U-236	0,013	$2,305 \cdot 10^{-3}$	$1,226 \cdot 10^{-3}$	$2,213 \cdot 10^{-4}$	$4,597 \cdot 10^{-3}$	$8,298 \cdot 10^{-4}$
U-237	$5,162 \cdot 10^{-7}$	$1,988 \cdot 10^{-10}$	$3,231 \cdot 10^{-4}$	$1,245 \cdot 10^{-7}$	$1,722 \cdot 10^{-4}$	$6,633 \cdot 10^{-8}$
U-238	0,013	$2,305 \cdot 10^{-3}$	$1,226 \cdot 10^{-3}$	$2,213 \cdot 10^{-4}$	$4,597 \cdot 10^{-3}$	$8,298 \cdot 10^{-4}$
U-240	-	-	$1,38 \cdot 10^{-5}$	$3,689 \cdot 10^{-9}$	$9,518 \cdot 10^{-15}$	$2,544 \cdot 10^{-18}$
Np-233	-	-	$1,766 \cdot 10^{-19}$	-	-	-
Np-234	$2,751 \cdot 10^{-9}$	$3,724 \cdot 10^{-12}$	$1,891 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-8}$	$1,422 \cdot 10^{-4}$	$1,203 \cdot 10^{-7}$
Np-235	0,011	$4,115 \cdot 10^{-4}$	$9,561 \cdot 10^{-5}$	$2,299 \cdot 10^{-6}$	0,014	$3,336 \cdot 10^{-4}$

Радио- нуклид	Группа продуктов					
	Овощи		Молоко		Мясо	
	$K_1^{r,f}$	$K_2^{r,f}$	$K_1^{r,f}$	$K_2^{r,f}$	$K_1^{r,f}$	$K_2^{r,f}$
Np-236l	0,013	$9,219 \cdot 10^{-3}$	$1,022 \cdot 10^{-4}$	$4,61 \cdot 10^{-5}$	0,015	$6,915 \cdot 10^{-3}$
Np-236s	-	-	$2,784 \cdot 10^{-6}$	$1,905 \cdot 10^{-9}$	$3,31 \cdot 10^{-10}$	$2,265 \cdot 10^{-13}$
Np-237	0,013	$9,22 \cdot 10^{-3}$	$1,022 \cdot 10^{-4}$	$4,61 \cdot 10^{-5}$	0,015	$6,915 \cdot 10^{-3}$
Np-238	$3,47 \cdot 10^{-16}$	$4,102 \cdot 10^{-19}$	$8,79 \cdot 10^{-6}$	$6,495 \cdot 10^{-9}$	$2,62 \cdot 10^{-6}$	$1,936 \cdot 10^{-9}$
Np-239	$7,473 \cdot 10^{-15}$	$8,967 \cdot 10^{-18}$	$9,959 \cdot 10^{-6}$	$7,468 \cdot 10^{-9}$	$5,567 \cdot 10^{-6}$	$4,175 \cdot 10^{-9}$
Np-240	-	-	$6,403 \cdot 10^{-14}$	$4,118 \cdot 10^{-17}$	-	-
Pu-234	-	-	$2,149 \cdot 10^{-8}$	$2,828 \cdot 10^{-12}$	-	-
Pu-236	0,012	$2,974 \cdot 10^{-5}$	$5,973 \cdot 10^{-6}$	$7,442 \cdot 10^{-8}$	$2,949 \cdot 10^{-4}$	$3,674 \cdot 10^{-6}$
Pu-237	$2,728 \cdot 10^{-3}$	$3,475 \cdot 10^{-7}$	$3,965 \cdot 10^{-6}$	$2,525 \cdot 10^{-9}$	$1,482 \cdot 10^{-4}$	$9,441 \cdot 10^{-8}$
Pu-238	0,013	$2,048 \cdot 10^{-4}$	$6,125 \cdot 10^{-6}$	$4,922 \cdot 10^{-7}$	$3,061 \cdot 10^{-4}$	$2,46 \cdot 10^{-5}$
Pu-239	0,013	$2,304 \cdot 10^{-4}$	$6,13 \cdot 10^{-6}$	$5,53 \cdot 10^{-7}$	$3,065 \cdot 10^{-4}$	$2,765 \cdot 10^{-5}$
Pu-240	0,013	$2,301 \cdot 10^{-4}$	$6,13 \cdot 10^{-6}$	$5,523 \cdot 10^{-7}$	$3,065 \cdot 10^{-4}$	$2,762 \cdot 10^{-5}$
Pu-241	0,013	$1,205 \cdot 10^{-4}$	$6,098 \cdot 10^{-6}$	$2,916 \cdot 10^{-7}$	$3,041 \cdot 10^{-4}$	$1,454 \cdot 10^{-5}$
Pu-242	0,013	$2,305 \cdot 10^{-4}$	$6,13 \cdot 10^{-6}$	$5,532 \cdot 10^{-7}$	$3,065 \cdot 10^{-4}$	$2,766 \cdot 10^{-5}$
Pu-243	-	-	$2,825 \cdot 10^{-9}$	$3,676 \cdot 10^{-13}$	-	-
Pu-244	0,013	$2,305 \cdot 10^{-4}$	$6,13 \cdot 10^{-6}$	$5,532 \cdot 10^{-7}$	$3,065 \cdot 10^{-4}$	$2,766 \cdot 10^{-5}$
Pu-245	-	-	$3,465 \cdot 10^{-8}$	$4,583 \cdot 10^{-12}$	$1,464 \cdot 10^{-19}$	-
Pu-246	$2,223 \cdot 10^{-5}$	$1,05 \cdot 10^{-9}$	$2,203 \cdot 10^{-6}$	$5,206 \cdot 10^{-10}$	$3,272 \cdot 10^{-5}$	$7,733 \cdot 10^{-9}$
Am-237	-	-	$1,547 \cdot 10^{-13}$	$1,991 \cdot 10^{-17}$	-	-
Am-238	.*	-	$6,787 \cdot 10^{-12}$	$8,744 \cdot 10^{-16}$	-	-
Am-239	-	-	$3,142 \cdot 10^{-7}$	$4,172 \cdot 10^{-11}$	$3,435 \cdot 10^{-18}$	-
Am-240	$3,453 \cdot 10^{-16}$	$2,041 \cdot 10^{-20}$	$3,515 \cdot 10^{-6}$	$5,195 \cdot 10^{-10}$	$2,617 \cdot 10^{-8}$	$3,868 \cdot 10^{-12}$
Am-241	0,013	$4,499 \cdot 10^{-4}$	$4,086 \cdot 10^{-5}$	$3,6 \cdot 10^{-6}$	$1,532 \cdot 10^{-4}$	$1,35 \cdot 10^{-5}$
Am-242	-	-	$5,988 \cdot 10^{-7}$	$8,047 \cdot 10^{-11}$	$6,063 \cdot 10^{-15}$	$8,147 \cdot 10^{-19}$
Am-242m	0,013	$4,304 \cdot 10^{-4}$	$4,085 \cdot 10^{-5}$	$3,446 \cdot 10^{-6}$	$1,531 \cdot 10^{-4}$	$1,292 \cdot 10^{-5}$
Am-243	0,013	$4,604 \cdot 10^{-4}$	$4,087 \cdot 10^{-5}$	$3,683 \cdot 10^{-6}$	$1,532 \cdot 10^{-4}$	$1,381 \cdot 10^{-5}$
Am-244	-	-	$2,09 \cdot 10^{-7}$	$2,76 \cdot 10^{-11}$	$2,009 \cdot 10^{-20}$	-
Am-245	-	-	$6,743 \cdot 10^{-11}$	$8,699 \cdot 10^{-15}$	-	-
Am-246	-	-	$5,51 \cdot 10^{-19}$	-	-	-
Cm-238	-	-	$2,575 \cdot 10^{-11}$	$3,325 \cdot 10^{-15}$	-	-
Cm-240	$9,663 \cdot 10^{-4}$	$8,145 \cdot 10^{-8}$	$2,217 \cdot 10^{-6}$	$9,342 \cdot 10^{-10}$	$1,021 \cdot 10^{-5}$	$4,302 \cdot 10^{-9}$
Cm-241	$1,521 \cdot 10^{-3}$	$1,489 \cdot 10^{-7}$	$2,377 \cdot 10^{-6}$	$1,164 \cdot 10^{-9}$	$1,193 \cdot 10^{-5}$	$5,841 \cdot 10^{-9}$
Cm-242	$8,299 \cdot 10^{-3}$	$3,374 \cdot 10^{-6}$	$3,509 \cdot 10^{-6}$	$7,133 \cdot 10^{-9}$	$2,427 \cdot 10^{-5}$	$4,934 \cdot 10^{-8}$
Cm-243	0,013	$1,626 \cdot 10^{-4}$	$4,076 \cdot 10^{-6}$	$2,613 \cdot 10^{-7}$	$3,053 \cdot 10^{-5}$	$1,957 \cdot 10^{-6}$
Cm-244	0,013	$1,358 \cdot 10^{-4}$	$4,07 \cdot 10^{-6}$	$2,187 \cdot 10^{-7}$	$3,046 \cdot 10^{-5}$	$1,637 \cdot 10^{-6}$
Cm-245	0,013	$2,302 \cdot 10^{-4}$	$4,087 \cdot 10^{-6}$	$3,684 \cdot 10^{-7}$	$3,065 \cdot 10^{-5}$	$2,763 \cdot 10^{-6}$
Cm-246	0,013	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$4,086 \cdot 10^{-6}$	$3,68 \cdot 10^{-7}$	$3,065 \cdot 10^{-5}$	$2,76 \cdot 10^{-6}$
Cm-247	0,013	$2,305 \cdot 10^{-4}$	$4,087 \cdot 10^{-6}$	$3,688 \cdot 10^{-7}$	$3,065 \cdot 10^{-5}$	$2,766 \cdot 10^{-6}$
Cm-248	0,013	$2,305 \cdot 10^{-4}$	$4,087 \cdot 10^{-6}$	$3,688 \cdot 10^{-7}$	$3,065 \cdot 10^{-5}$	$2,766 \cdot 10^{-6}$
Cm-249	-	-	$2,062 \cdot 10^{-15}$	$2,652 \cdot 10^{-19}$	-	-
Cm-250	0,013	$2,302 \cdot 10^{-4}$	$4,087 \cdot 10^{-6}$	$3,683 \cdot 10^{-7}$	$3,065 \cdot 10^{-5}$	$2,762 \cdot 10^{-6}$

\* - миграцию радионуклида по данному пути допускается не учитывать

С учетом таблицы Приложения 2 из НРБ-99/2009 [НРБ, 2009] годовые потребления пищевых продуктов лицами из различных возрастных групп можно рассчитать по формуле:

$$I_{r,f} = \frac{E_g}{E_{g=6}} \cdot I_{f,g=6}, \quad \text{где} \quad (\text{П.13})$$

$g$  — возрастная группа в соответствии с [НРБ, 2009] (данная переменная принимает следующие значения: 2 - дети в возрасте 1-2 года; 3 - дети в возрасте 2-7 лет; 4 - дети в возрасте 7-12 лет; 5 - дети в возрасте 12-17 лет; 6 – взрослые (старше 17 лет));

$E_g$  — суточные энергетические затраты для возрастной группы  $g$  (значения этого параметра могут быть приняты в соответствии с [Руководство, 1999]), ккал/сут;

$E_{g=6}$  — суточные энергетические затраты для возрастной группы «взрослые», ккал/сут;

$I_{f,g=6}$  — годовое потребление продукта  $f$  лицом из возрастной группы «взрослые» (значения этого параметра могут быть приняты в соответствии с СанПиН 2.3.2.1078-01 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов» [СанПиН, 2001]), кг/год.

В соответствии с пунктом 5.4 [СП, 2007] использование земель СЗЗ для сельскохозяйственных целей не допускается, если на него нет разрешения органов государственного санитарно-эпидемиологического надзора и положительного санитарно-эпидемиологического заключения на производимую продукцию. В связи с этим при разработке нормативов ПДВ следует внутри СЗЗ принимать  $\Psi_{r,i}^{нуц}$  равной нулю, если на использование земель СЗЗ нет соответствующего разрешения.

Что касается радионуклидов  $^{14}\text{C}$  и  $^3\text{H}$ , то имеющиеся в [Generis, 2000] подходы к учету их воздействия не специфичны по отношению к путям облучения. В соответствии с [Generis, 2000], функция перехода от активности выброса  $^3\text{H}$  из  $i$ -го источника к годовой эффективной дозе облучения населения за счет поступления трития ингаляционным или пероральным путем и через кожные покровы, рассчитывается по формуле:

$$\Psi_{^3\text{H},i}(x,n) = \frac{1}{3,15 \cdot 10^7} \cdot \frac{\overline{G_n^{^3\text{H}}}(x)}{H} \cdot g_{^3\text{H}}, \quad \text{где} \quad (\text{П.14})$$

$g_{^3\text{H}}$  — дозовый коэффициент для трития, Зв·л/(Бк·год), который согласно [Generis, 2000] следует принять равным  $2,6 \cdot 10^{-8}$  Зв·л/Бк·год;

$H$  — абсолютная влажность воздуха, л/м<sup>3</sup>;

$\overline{G_n^{^3\text{H}}}(x)$  — среднегодовой метеорологический фактор разбавления для трития, с/м<sup>3</sup>.

Функция перехода, связывающая активность выброса  $^{14}\text{C}$  из  $i$ -го источника с годовой эффективной дозой облучения населения за счет воздействия углерода, поступающего в организм человека пероральным путем, в соответствии с [Generis, 2000] определяется следующим образом:

$$\Psi_{^{14}\text{C},i}(x,n) = \frac{1}{3,15 \cdot 10^7} \cdot \frac{\overline{G_n^{^{14}\text{C}}}(x)}{\gamma} \cdot g_{^{14}\text{C}}, \quad \text{где} \quad (\text{П.15})$$

$g_{^{14}\text{C}}$  — дозовый коэффициент для углерода, Зв·г/(Бк·год), который согласно [Generis, 2000] следует принять равным  $5,6 \cdot 10^{-5}$  Зв·г/(Бк·год);

$\gamma$  — параметр, который рекомендуется принять равным  $1,8 \cdot 10^{-1}$  г/м<sup>3</sup>;

$\overline{G_n^{14C}}(x)$  — среднегодовой метеорологический фактор разбавления для углерода,  $\text{с/м}^3$ .

Функционал  $\Psi_{r,i}^{eq,k}(x,n)$  можно рассчитать по следующей формуле:

$$\Psi_{r,i}^{eq,k}(x,n) = R_{obl}^{r,k} \cdot \overline{G_{i,n}^r}(x) + (F_{r,i,n}(x) + W_{r,i,n}(x)) \cdot \frac{R_{нов}^{r,k}}{\lambda^r + \lambda_b}, \quad \text{где} \quad (\text{П1.16})$$

$R_{obl}^{r,k}$  — дозовый коэффициент, предназначенный для пересчета единичной концентрации радионуклида  $r$  в приземном слое воздуха в мощность эквивалентной дозы в  $k$ -ом органе или ткани,  $\text{Зв} \cdot \text{м}^3 / (\text{Бк} \cdot \text{с})$ ;

$R_{нов}^{r,k}$  — дозовый коэффициент, предназначенный для пересчета единичной поверхностной концентрации радионуклида  $r$  на поверхности земли в мощность эквивалентной дозы в  $k$ -ом органе или ткани,  $\text{Зв} \cdot \text{м}^2 / (\text{Бк} \cdot \text{с})$ .

Значения  $R_{obl}^{r,k}$  и  $R_{нов}^{r,k}$  для кожи приведены, например, в [ЕРА, 1993]. Значения дозовых коэффициентов для хрусталика глаза можно консервативно принять равными 0,3 от значений соответствующих дозовых коэффициентов для кожи.

#### П1.4 Методы расчета среднегодовых фактора разбавления, факторов сухого осаждения и влажного выведения

Для расчета среднегодового метеорологического фактора разбавления (формулы: П1.9-П1.11 и П1.14-П1.16) достаточно использования Гауссовой модели рассеяния примеси в атмосфере.

В соответствии с [Гусев и Беляев, 1991], среднегодовой метеорологический фактор разбавления радионуклида  $r$  в приземном слое воздуха на расстоянии  $x$  от источника выбросов в  $n$ -ом румбе в рамках Гауссовой модели рассеяния примеси в атмосфере рассчитывается по формуле:

$$\begin{aligned} \overline{G_n^r}(x) = & (1 - K_b) \cdot \frac{2 \cdot N}{(2 \cdot \pi)^{3/2} \cdot x} \cdot \sum_j \sum_k \frac{\omega_{n,j,k} \cdot \Phi_{j,k}^r(x)}{\sigma_{z,j}(x) \cdot U_{j,k}} \cdot \exp\left(-\frac{(h_s + \Delta h_{j,k}(x))^2}{2 \cdot \sigma_{z,j}^2(x)}\right) + \\ & + K_b \cdot \frac{2 \cdot N}{(2 \cdot \pi)^{3/2}} \cdot \sum_j \sum_k \frac{\omega_{n,j,k} \cdot \Phi_{j,k}^r(x)}{\sigma_{z,j}(x + x_g^j) \cdot U_{j,k} \cdot (x + x_g^j)} \cdot \exp\left(-\frac{h_s^2}{2 \cdot \sigma_{z,j}^2(x + x_g^j)}\right), \end{aligned} \quad \text{где (П1.17)}$$

$j$  — номер градации категории устойчивости атмосферы;

$k$  — номер градации модуля скорости ветра на высоте флюгера, соответственно;

$n$  — номер румба;

$N$  — число румбов, которое в соответствии со сложившейся практикой метеорологических наблюдений может быть равно либо 8, либо 16;

$x$  — расстояние от источника выбросов, м;

$U_{j,k}$  — модуль скорости ветра на высоте выброса  $h_s$  при скорости ветра на высоте флюгера из градации  $k$  для  $j$ -й категории устойчивости атмосферы, м/с;

$\sigma_{z,j}(x)$  — дисперсия струи по вертикали на расстоянии  $x$  от источника выбросов для  $j$ -й категории устойчивости атмосферы;

$\omega_{n,j,k}$  — повторяемость метеорологических условий, представляющая собой вероятность совместной реализации направления ветра в румбе  $n$  при категории устойчивости  $j$  и градации скорости ветра  $k$ ;

$h_s$  — геометрическая высота трубы, из которой осуществляется выброс, м;

$\Delta h_{j,k}(x)$  — высота подъема шлейфа над устьем трубы при скорости ветра на высоте флюгера из градации  $k$  для  $j$ -й категории устойчивости атмосферы за счет динамических и термических факторов, м;

$\Phi_{j,k}^r(x)$  — фактор истощения шлейфа за счет радиоактивного распада радионуклида  $r$ , сухого осаждения и влажного выведения из атмосферы на подстилающую поверхность;

$K_b$  — доля выбросов, попадающая в зону аэродинамической тени за зданием при выбросе из низких источников, для высоких источников (выше 70 м) принимаемая равной нулю;

$x_e^j$  — величина «виртуального» сдвига характеристик рассеяния доли выброса, попадающей в зону аэродинамической тени, м.

Метод расчета  $K_b$  с использованием приведенной высоты здания изложен в разделе 4.3 [Гусев и Беляев, 1991]. Метод определения «виртуального» сдвига  $x_e^j$  изложен в разделе 4.8 [Гусев и Беляев, 1991]. Краткое описание расчета величин  $K_b$  и  $x_e^j$  в соответствии с [Гусев и Беляев, 1991] представлено в разделе П1.5 данного Приложения.

Скорость ветра на высоте выброса  $U_{j,k}$  в соответствии с Приложением Д к [МТ, 2013] рассчитывается по формуле:

$$U_{j,k}(h) = U_k(z_\phi) \cdot \left( \frac{h}{z_\phi} \right)^{\varepsilon_j(z_0)}, \quad \text{где} \quad (П1.18)$$

$U_k(z_\phi)$  — модуль приземной скорости ветра из градации по скоростям ветра  $k$ , м/с;

$h$  — высота выброса, м;

$z_\phi$  — высота флюгера (рекомендуется принимать равной 10 м);

$\varepsilon_j(z_0)$  — безразмерный параметр, зависящий от категории устойчивости атмосферы и коэффициента мезомасштабной шероховатости  $z_0$  подстилающей поверхности.

Значения  $\varepsilon_j(z_0)$  в соответствии с [МТ, 2013] приведены в таблице П1.3.

Таблица П1.3 – Рекомендуемые значения параметра  $\varepsilon_j(z_0)$ , используемого для расчета изменения скорости ветра с высотой

Категория устойчивости	$Z_0=1$ см	$Z_0=10$ см	$Z_0=100$ см	$Z_0=300$ см
A	0,05	0,08	0,16	0,27
B	0,06	0,09	0,17	0,28
C	0,06	0,11	0,20	0,31
D	0,12	0,16	0,27	0,37
E	0,34	0,32	0,38	0,47
F	0,53	0,54	0,61	0,69

В случае если отсутствуют данные о совместной реализации направления ветра в румбе  $n$  при категории устойчивости  $j$  и градации скорости ветра  $k$ , с целью обеспечения консерватизма разработанных нормативов, фактор разбавления можно рассчитывать следующим образом:

$$\bar{G}_n^r(x) = \max_j \left[ (1 - K_b) \cdot \frac{2 \cdot N \cdot \omega_n}{(2 \cdot \pi)^{3/2} \cdot x} \cdot \frac{\Phi_j^r(x)}{\sigma_{z,j}(x) \cdot \bar{U}} \cdot \exp\left(-\frac{(h_s + \Delta h_j(x))^2}{2 \cdot \sigma_{z,j}^2(x)}\right) + K_b \cdot \frac{2 \cdot N \cdot \omega_n}{(2 \cdot \pi)^{3/2}} \cdot \frac{\Phi_j^r(x)}{\sigma_{z,j}(x + x_g^j) \cdot \bar{U} \cdot (x + x_g^j)} \cdot \exp\left(-\frac{h_s^2}{2 \cdot \sigma_{z,j}^2(x + x_g^j)}\right) \right], \text{ где} \quad (\text{П1.19})$$

$\bar{U}$  — среднегодовая скорость ветра на высоте выброса, м/с;

$\omega_n$  — повторяемость направлений ветра.

Для проведения еще более консервативных расчетов фактора разбавления в случае, если известны данные только о повторяемостях направления ветра, допускается использовать метод огибающей, подробно описанный в разделе 4.7 главы 4 [Гусев и Беляев, 1991]. Для сокращения времени расчетов фактора разбавления с использованием метода огибающей также можно использовать построенные по формуле (4.52) [Гусев и Беляев, 1991] зависимости, приведенные на рисунках П.1.1 – П.1.18 приложения П1 к [Гусев и Беляев, 1991].

Среднегодовой метеорологический фактор сухого осаждения радионуклида  $r$  на подстилающую поверхность на расстоянии  $x$  от источника выбросов в  $n$ -ом румбе рассчитывается по формуле:

$$F_{r,n}(x) = V_d^r \cdot \bar{G}_n^r(x), \quad \text{где} \quad (\text{П1.18})$$

$V_d^r$  — скорость сухого осаждения радионуклида  $r$  на подстилающую поверхность, м/с.

Среднегодовой метеорологический фактор влажного выведения радионуклида  $r$  из облака на подстилающую поверхность на расстоянии  $x$  от источника выбросов в  $n$ -ом румбе рассчитывается по формуле:

$$W_{r,n}(x) = \Lambda^r \cdot G_{r,n}^z(x), \quad \text{где} \quad (\text{П1.19})$$

$\Lambda^r$  — постоянная вымывания радионуклида  $r$  из атмосферы осадками, усредненная за год с учетом типа и продолжительности осадков в течение года, с<sup>-1</sup>;

$G_{r,n}^z(x)$  — интеграл по вертикальной координате  $z$  от зависящего от высоты над поверхностью земли среднегодового фактора разбавления, который можно определить по следующей формуле:

$$G_{r,n}^z(x) = \frac{N}{2\pi \cdot x} \cdot \sum_j \sum_k \frac{\omega_{n,j,k}}{U_{j,k}} \cdot \Phi_{j,k}^r(x) \quad (\text{П1.20})$$

Значения параметра  $V_d^r$  можно принимать в соответствии с данными справочника [Гусев и Беляев, 1991], однако более широкий спектр значений параметра  $V_d^r$  представлен в документе МАГАТЭ [IAEA, 1986]. Значения  $V_d^r$  для ряда элементов приведены в таблице П1.4.

Таблица П1.4 – Скорости сухого осаждения, м/с [IAEA, 1986]

Элемент	$V_d^r$ , м/с
Co	0,003 – 0,019
Ni	0,007 – 0,04
I	0,003 – 0,02
La	0,006 – 0,035
Ce	0,005 – 0,019
Pb	0,0038
Zn	0,018
Sr	$2 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-4}$
Cs	$2 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-3}$
Ru	$2 \cdot 10^{-3} - 6 \cdot 10^{-3}$

Используемая в формулах функция истощения рассчитывается в соответствии с разделом 4.9 [Гусев и Беляев, 1991]. В целях консерватизма данный параметр может быть принят равным 1.

Для радионуклидов  $^3\text{H}$  и  $^{14}\text{C}$  функцию истощения следует принимать равной 1.

Для расчета факторов разбавления и факторов сухого и влажного выведения для подлежащих государственному учету и нормированию площадных источников целесообразным является использование моделей переноса примеси в атмосфере, прошедших сертификацию в РФ. Допускается использование модели GENII [GENII, 2004], разработанной для Агентства по защите окружающей среды США. В соответствии с данной моделью площадные источники представляются в виде квадрата со стороной  $2 \cdot a$ .

Среднегодовой метеорологический фактор разбавления на расстоянии  $x$  от площадного источника выброса в  $n$ -ом румбе,  $\text{с/м}^3$ , рассчитывается следующим образом:

$$\bar{G}_n(z, x) = \begin{cases} \sum_j \sum_k \int_{-a}^a \frac{\omega_{n,j,k}}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma_{z,j}(x - \zeta)} \cdot \bar{U} \cdot S} \cdot P(z, x - \zeta) d\zeta, \text{ при } a \leq x \leq 5,093 \cdot a \\ \sum_j \sum_k \frac{16 \cdot a}{\pi \cdot x} \cdot \int_{-a}^a \frac{\omega_{n,j,k}}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma_{z,j}(x - \zeta)} \cdot \bar{U} \cdot S} \cdot P(z, x - \zeta) d\zeta, \text{ при } x > 5,093 \cdot a \end{cases},$$

где (П1.21)

$S$  — площадь поверхности площадного источника,  $\text{м}^2$ ;

$a$  — половина длины стороны площадного источника, м;

$\bar{U}$  — среднегодовая скорость ветра на высоте флюгера, м/с;

$\zeta$  — переменная интегрирования, м;

$P_j(z, x)$  — функция, определяемая соотношением:

$$P_j(z, x) = \sum_{n=-2}^2 \exp \left[ -\frac{(2 \cdot \pi \cdot H - z)^2}{2 \cdot \sigma_{z,j}(x)^2} \right] + \exp \left[ -\frac{(2 \cdot \pi \cdot H + z)^2}{2 \cdot \sigma_{z,j}(x)^2} \right],$$

где (П1.22)



$H$  — высота слоя перемешивания, м (определяется по результатам многолетних наблюдений);

$z$  — высота над поверхностью земли (в соответствии с [GENII, 2004] данный параметр принимает значение, равное 1 м);

$n$  — переменная суммирования.

Среднегодовой метеорологический фактор влажного выведения радионуклида  $r$  из облака на подстилающую поверхность на расстоянии  $x$  от площадного источника выброса в  $n$ -ом румбе в соответствии с [GENII, 2004] рассчитывается по формуле:

$$W_{r,n}(x) = \sum_k \sum_j \frac{\Lambda^r \cdot \omega_{n,j,k}}{\bar{U} \cdot \max\left(2 \cdot \arctg \frac{\pi \cdot x}{16}, \sigma_{y,j}(x)\right)}, \quad \text{где} \quad (\text{П1.23})$$

$\sigma_{y,j}(x)$  — дисперсия струи в горизонтальном направлении на расстоянии  $x$  от источника выбросов для  $j$ -й категории устойчивости атмосферы.

Среднегодовой метеорологический фактор сухого осаждения радионуклида  $r$  на подстилающую поверхность на расстоянии  $x$  от площадного источника выброса в  $n$ -ом румбе в соответствии с [GENII, 2004] рассчитывается по формуле:

$$F_{r,n}(x) = V_d^r \cdot \sum_k \sum_j \frac{\omega_{n,j,k}}{\bar{U} \cdot \max\left(2 \cdot \arctg \frac{\pi \cdot x}{16}, \sigma_{y,j}(x)\right)} \quad (\text{П1.24})$$

Параметры, характеризующие дисперсию струи  $\sigma_{y,j}(x)$  и  $\sigma_{z,j}(x)$ , определяются по формулам, использующим параметризацию Смита-Хоскера, приведенным в [Гусев и Беляев, 1991]. Кроме того, в случае, если подстилающей поверхностью является низкая трава до 15 см, то для определения вертикальной дисперсии  $\sigma_{z,j}(x)$  могут быть использованы формулы Бриггса [Briggs, 1969].

Траекторию подъема струи  $\Delta h_{j,k}(x)$  для всех погодных условий рекомендуется вычислять по формулам Неттервилла [Air, 1998].

### П1.5 Порядок расчета величин $K_b$ и $\chi_b$

Расчет для низких труб рекомендуется проводить по смешанной модели, где доля  $(1 - K_b)$  от общего количества выброса рассчитывается, как выброшенная из высокой трубы, а доля примеси, равная  $K_b$ , поступает в зону аэродинамической тени, где формируется объемный источник. Рекомендуется принимать, что все выбросы из проемов здания и других, расположенных вблизи здания источников, высота которых ниже высоты здания, попадают в зону его аэродинамической тени.

Рекомендуемые значения коэффициента  $K_b$  в зависимости от безразмерной приведенной высоты здания  $\bar{h}_b$  приведены в таблице П1.5.

Таблица П1.5 – Доля выбросов  $K_b$ , попадающая в зону аэродинамической тени за зданием при низком выбросе в зависимости от безразмерной приведенной высоты здания  $\bar{h}_b$

$\bar{h}_b, \text{ м}$	$K_b$
0	1
0,05	0,984
0,1	0,960
0,2	0,906
0,3	0,808
0,4	0,662
0,5	0,5
0,6	0,338
0,7	0,192
0,8	0,094
0,9	0,040
0,95	0,014
1	0

Приведенная высота здания  $\bar{h}_b$ , зависящая от взаимного расположения здания и трубы, рассчитывается по формуле:

$$\bar{h}_b = \frac{h_s - h_b}{h_{iz} - h_b}, \quad \text{где} \quad (\text{П1.25})$$

$h_s$  — геометрическая высота источника выбросов от поверхности земли, м;

$h_b$  — высота здания, м;

$h_{iz}$  — расстояние от уровня земли до верхней границы зоны смещения потока воздуха за зданием, м:

$$h_{iz} = h_b \cdot \left( 1 + \frac{h_b}{h_b + b} \right), \quad \text{где} \quad (\text{П1.26})$$

$b$  — ширина перпендикулярного направлению ветра сечения здания, м.

Параметр  $x_g$  определяется как решение следующего уравнения:

$$S_b = \pi \cdot \sigma_{y,j}(x_g) \cdot \sigma_{z,j}(x_g), \quad \text{где} \quad (\text{П1.27})$$

$j$  — номер градации категории устойчивости атмосферы;

$S_b$  — площадь сечения здания перпендикулярно направлению ветра;

$\sigma_y(x_g)$  и  $\sigma_z(x_g)$  — дисперсии струи в горизонтальном и вертикальном направлениях, вычисленные для расстояния  $x_g$ , м.

Для поперечной дисперсии  $\sigma_{y,j}$  рекомендуется использовать формулу:

$$\sigma_{y,j}(x) = \frac{c_3^j \cdot x}{\sqrt{1 + 0,0001 \cdot x}} \quad (\text{П1.28})$$

Рекомендуемые значения параметра  $c_3$  для различных категорий устойчивости атмосферы приведены в таблице П1.6.

Таблица П1.6 – Значения параметра  $c_3^j$  для различных категорий устойчивости

Категория устойчивости	$c_3^j$
A	0,22
B	0,16
C	0,11
D	0,08
E	0,06
F	0,06

После определения  $x_e$  расчет объемных активностей рекомендуется проводить по формулам для точечных источников, заменяя в них реальные расстояния  $x$  от точки выброса до точки детектирования суммой  $x' = x + x_e$ .

### 1.6 Порядок расчета параметра $\Lambda^r$

Рекомендуемые значения скоростей сухого осаждения  $V_d^r$  приведены в таблице П1.4.

Среднегодовая постоянная вымывания радионуклида осадками рассчитывается по следующей формуле:

$$\Lambda^r = \frac{\gamma_0^r}{8760} \cdot \sum_{s=1}^3 \gamma_s \cdot \theta_s, \quad \text{где} \quad (\text{П1.29})$$

$\gamma_0^r$  — абсолютная вымывающая способность дождя для радионуклида  $r$ , ч/(мм·с);

$\gamma_s$  — относительная вымывающая способность осадков разного типа  $s$  (жидкие, смешанные и твердые осадки);

$\theta_s$  — среднегодовая сумма выпадения осадков типа  $s$ , мм.

Рекомендуется значение величины  $\gamma_0^r$  для всех радионуклидов, кроме инертных радиоактивных газов принимать равным  $1 \cdot 10^{-5}$  ч/(мм·с), а для инертных радиоактивных газов принимать равным нулю. Для параметра  $\gamma_s$  рекомендуется принять следующие значения:  $\gamma_1 = 1$  для жидких,  $\gamma_2 = 2,4$  для смешанных,  $\gamma_3 = 3$  для твердых осадков. Величина  $\theta_s$  оценивается по климатическим данным для района расположения источника выбросов.

## Приложение 2

### П2.1 Методы расчета максимальных удельных активностей

Для расчета нормативов  $ДС_{r,n}^{доз}$  с помощью формулы (3.13) необходимо определить значения  $МУА_{r,n}^j$  для каждого из приведенных выше путей облучения.

МУА  $r$ -го радионуклида в воде водного объекта для пути внешнего облучения «купание» можно определить по следующей формуле:

$$МУА_{r,n}^{купание} = \frac{1}{3,15 \cdot 10^7} \cdot \frac{\delta}{F_{r,внеш} \cdot \tau_{купание}}, \quad \text{где} \quad (\text{П2.1})$$

$\delta$  — квота от предела годовой эффективной дозы (далее – ПД) на сбросы, выделенная для данной организации, Зв/год;

$3,15 \cdot 10^7$  — количество секунд в году;

$F_{r,внеш}$  — дозовый коэффициент внешнего облучения,  $(Зв \cdot м^3) \cdot (Бк \cdot с)^{-1}$ ;

$\tau_{купание}$  — время купания в долях года (безразмерная величина).

Для расчета МУА  $r$ -го радионуклида в воде водного объекта для пути внешнего облучения «рыболовство» можно использовать соотношение:

$$МУА_{r,n}^{рыболовство} = \frac{1}{3,15 \cdot 10^7} \cdot \frac{\delta}{F_{r,внеш} \cdot \tau_{рыболовство}}, \quad \text{где} \quad (\text{П2.2})$$

$\tau_{рыболовство}$  — время рыбной ловли в долях года (безразмерная величина).

МУА  $r$ -го радионуклида в воде водного объекта для пути внешнего облучения «пребывание на пляже» можно рассчитать по формуле:

$$МУА_r^{пребывание на пляже} = \frac{1}{3,15 \cdot 10^7} \cdot \frac{\delta}{0,2 \cdot f_r \cdot \rho_s \cdot \Delta \cdot K_d^r \cdot \tau_{пребывание на пляже}}, \quad \text{где} \quad (\text{П2.3})$$

$f_r$  — дозовый коэффициент, равный мощности эквивалентной дозы от поверхностного загрязнения почвы  $r$ -м радионуклидом с единичной поверхностной активностью,  $(Зв \cdot м^2) \cdot (Бк \cdot с)^{-1}$ ;

$\rho_s$  — плотность загрязненной почвы,  $кг/м^3$  (определяется по натурным исследованиям, для выполнения консервативной оценки можно данный параметр принять равным  $1300 кг/м^3$ );

$\Delta$  — толщина загрязненного радионуклидами слоя почвы, м (определяется по натурным исследованиям, для выполнения консервативной оценки можно данный параметр принять равным  $0,02 м$ );

$K_d^r$  — коэффициент межфазного распределения «вода-почва» (определяется по натурным исследованиям, для выполнения консервативной оценки можно данный параметр принимать в соответствии с таблицей 14 документа МАГАТЭ [Handbook, 2010]), м<sup>3</sup>/кг;

Значения коэффициента  $K_d^r$  представлены в таблице П2.1.

$\tau_{\text{пребывания на пляже}}$  — время пребывания на пляже в долях года (безразмерная величина).

Для расчета МУА  $r$ -го радионуклида в воде водного объекта для пути внешнего облучения «пребывание в поймах рек» можно использовать следующую формулу:

$$МУА_r^{\text{пребывания в пойме}} = \frac{1}{3,15 \cdot 10^7} \cdot \frac{\delta}{f_r \cdot \rho_s \cdot \Delta \cdot K_d^r \cdot \tau_{\text{пребывания в пойме}}}, \quad \text{где} \quad (\text{П2.4})$$

$\tau_{\text{пребывания в пойме}}$  — время пребывания в пойме реки в долях года (безразмерная величина).

МУА  $r$ -го радионуклида в воде водного объекта для пути внешнего облучения «пребывание на орошаемых сельскохозяйственных угодьях» можно рассчитать по формуле:

$$МУА_r^{\text{пребывания на орошаемых}} = \frac{1}{3,15 \cdot 10^7} \cdot \frac{\delta}{f_r \cdot q_{op} \cdot \frac{1 - e^{-\lambda_r \cdot T_{op}}}{\lambda_r} \cdot \tau_{\text{пребывания на орошаемых}}}, \quad \text{где} \quad (\text{П2.5})$$

$q_{op}$  — расход воды на орошение (определяется по натурным исследованиям), м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·год);

$T_{op}$  — длительность орошения в течении года, год (используются данные натурных исследований);

$\tau_{\text{пребывания на орошаемых}}$  — время пребывания на орошаемых территориях в долях года (безразмерная величина).

Значения дозовых коэффициентов  $F_{r, \text{внешн}}$  и  $f_r$  при определении МУА для путей внешнего облучения по формулам (П2.1)–(П2.5) можно принимать в соответствии с [ЕРА, 1993].

Расчет МУА  $r$ -го радионуклида в воде водного объекта для пути внутреннего облучения, обусловленного потреблением рыбы, можно выполнять с помощью формулы:

$$МУА_r^{\text{потребление рыбы}} = \frac{\delta}{\varepsilon_{\text{нутр}}^r \cdot K_{p,r} \cdot I_{r, \text{fish}}}, \quad \text{где} \quad (\text{П2.6})$$

$K_{p,r}$  — коэффициент накопления радионуклида  $r$  в рыбе (в случае отсутствия экспериментальных данных можно использовать данные из таблицы XIII [Generic, 2000]), м<sup>3</sup>/кг;

$I_{r, \text{fish}}$  — годовое потребление рыбы лицом из возрастной группы, которая является критической по пероральному поступлению радионуклида  $r$ , кг/год.

Значения коэффициента  $K_{p,r}$  в соответствии с [Generic, 2000] представлены в таблице П2.1.

МУА  $r$ -го радионуклида в воде водного объекта для пути внутреннего облучения, обусловленного потреблением овощей с орошаемых сельскохозяйственных угодий, можно рассчитать по формуле:

$$МУА_r^{потребление\ овощей} = \frac{\delta}{\varepsilon_{нищ}^r \cdot K_{veg,r} \cdot I_{r,veg}}, \quad \text{где} \quad (П2.7)$$

$K_{veg,r}$  — коэффициент перехода радионуклидов от воды по пищевым цепочкам в овощи, м<sup>3</sup>/кг;

$I_{r,veg}$  — годовое потребление овощей лицом из возрастной группы, которая является критической по пероральному поступлению радионуклида  $r$ , кг/год.

Расчет МУА  $r$ -го радионуклида в воде водного объекта для пути внутреннего облучения, обусловленного потреблением мяса скота, в организм которого радионуклид попадает за счет водооя, можно выполнять с помощью формулы:

$$МУА_r^{потребление\ мяса\ (водою)} = \frac{\delta}{\varepsilon_{нищ}^r \cdot K_{meat(watering\ place),r} \cdot I_{r,meat}}, \quad \text{где} \quad (П2.8)$$

$K_{meat(watering\ place),r}$  — коэффициент перехода радионуклидов из воды по пищевым цепочкам в мясо скота за счет его водооя, м<sup>3</sup>/кг;

$I_{r,meat}$  — годовое потребление мяса лицом из возрастной группы, которая является критической по пероральному поступлению радионуклида  $r$ , кг/год.

Для расчета МУА  $r$ -го радионуклида в воде водного объекта для пути внутреннего облучения, обусловленного потреблением молока скота, в организм которого радионуклид попадает за счет водооя, можно использовать формулу:

$$МУА_r^{потребление\ молока\ (водою)} = \frac{\delta}{\varepsilon_{нищ}^r \cdot K_{milk(watering\ place),r} \cdot I_{r,milk}}, \quad \text{где} \quad (П2.9)$$

$K_{milk(watering\ place),r}$  — коэффициент перехода радионуклидов из воды по пищевым цепочкам в молоко скота за счет его водооя, м<sup>3</sup>/кг;

$I_{r,milk}$  — годовое потребление молока лицом из возрастной группы, которая является критической по пероральному поступлению радионуклида  $r$ , кг/год.

Расчет МУА  $r$ -го радионуклида в воде водного объекта для пути внутреннего облучения, обусловленного потреблением мяса скота, в организм которого радионуклид попадает за счет его выпаса на орошаемых землях, можно выполнять по формуле:

$$МУА_r^{потребление\ мяса\ (выпас)} = \frac{\delta}{\varepsilon_{нищ}^r \cdot K_{meat(pasture),r} \cdot I_{r,meat}}, \quad \text{где} \quad (П2.10)$$

$K_{meat(pasture),r}$  — коэффициент перехода радионуклидов из воды по пищевым цепочкам в мясо скота за счет его выпаса на орошаемых землях, м<sup>3</sup>/кг;

$I_{r,meat}$  — годовое потребление мяса лицом из возрастной группы, которая является критической по пероральному поступлению радионуклида  $r$ , кг/год.

Для расчета МУА  $r$ -го радионуклида в воде водного объекта для пути внутреннего облучения, обусловленного потреблением молока скота, в организм которого радионуклид попадает за счет его выпаса на орошаемых землях, можно использовать формулу:

$$МУА_r^{\text{потребление молока (выпас)}} = \frac{\delta}{\varepsilon_{\text{нуц}}^r \cdot K_{\text{milk (pasture),r}} \cdot I_{r,\text{milk}}}, \quad \text{где} \quad (\text{П2.11})$$

$K_{\text{milk (pasture),r}}$  — коэффициент перехода радионуклидов из воды по пищевым цепочкам в молоко скота за его счет выпаса на орошаемых землях, м<sup>3</sup>/кг;

$I_{r,\text{milk}}$  — годовое потребление молока лицом из возрастной группы, которая является критической по пероральному поступлению радионуклида  $r$ , кг/год.

Для консервативного расчета МУА по путям внутреннего облучения, обусловленного потреблением овощей, может быть использована модель миграции радионуклидов по пищевым цепочкам из [Generis, 2000], в соответствии с которой коэффициент перехода по овощной цепочке рассчитывается по формуле:

$$K_{\text{veg},r} = \left( I_w \cdot \alpha_2 \cdot \frac{1 - e^{-(\lambda_r + \lambda_{s,r})t_e}}{(\lambda_r + \lambda_w)} + FV_r \cdot \frac{120}{365} \cdot I_w \cdot \frac{1 - e^{-(\lambda_r + \lambda_{s,r})t_b}}{(\lambda_r + \lambda_{s,r}) \cdot \rho} \right) \cdot e^{-\lambda_r \cdot t_h}, \quad \text{где} \quad (\text{П2.12})$$

$I_w$  — средний за поливной период расход воды на единицу площади почвы (в случае отсутствия данных натурных исследований можно данный параметр консервативно принять равным  $1,3 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·сут)).

Остальные параметры, входящие в формулу (П2.12), описаны в пояснениях к формулам (П2.13) и (П2.14). В [Generis, 2000] выделяется три группы продуктов: «молоко», «мясо» и «овощи». Коэффициент перехода для овощной цепочки рассчитываются по формуле П2.13:

$$K_2^{r,\text{овощи}} = \frac{1}{365} \cdot FV_r \cdot \frac{1 - e^{-(\lambda_r + \lambda_{s,r})t_b}}{\rho \cdot (\lambda_r + \lambda_{s,r})} \cdot e^{-\lambda_r \cdot t_h}, \quad \text{где} \quad (\text{П2.13})$$

$\lambda_{s,r}$  — постоянная, характеризующая процессы снижения содержания радионуклидов в корневом слое почвы за счет всех процессов, за исключением радиоактивного распада (в соответствии с [Generis, 2000] данный параметр принимается равным  $0,00014 \text{ сут}^{-1}$  для изотопов цезия и стронция, и равным нулю для остальных радионуклидов);

$FV_r$  — коэффициент перехода радионуклида  $r$  из корневого слоя почвы в съедобную часть растения, кг (сухой почвы)/кг (сырой массы растения);

$t_b$  — период выведения радионуклидов из почвы за счет различных процессов, кроме радиоактивного распада, равный, в соответствии с [Generis, 2000],  $1,1 \cdot 10^4$  суток (30 лет);

$\rho$  — поверхностная плотность корневого слоя почвы (в соответствии с [Generis, 2000] принимается равной  $260 \text{ кг/м}^2$  для почвы, используемой для пастбищ, и  $130 \text{ кг/м}^2$  для почвы, используемой для выращивания сельскохозяйственных культур);

$t_h$  — время между сбором урожая и потреблением овощного продукта (в соответствии с [Generis, 2000] принимается равным 90 сут).

Коэффициенты перехода по молочной и мясной цепочкам за счет водопоя скота в соответствии с [Generic, 2000] рассчитываются по формулам:

$$K_{milk(wateringplace),r} = F_{milk,r}^m \cdot Q_{milk}^w \cdot e^{-\lambda_r \cdot t_m}, \quad (П2.14)$$

$$K_{meat(wateringplace),r} = F_{meat,r}^f \cdot Q_{meat}^w \cdot e^{-\lambda_r \cdot t_f}, \quad \text{где} \quad (П2.15)$$

$\lambda_r$  — постоянная распада, сут<sup>-1</sup>;

$Q_{milk}^w$  — суточный объем воды, потребляемый молочным скотом, в случае отсутствия экспериментальных данных можно принять равным 0,06 м<sup>3</sup>/сут [Generic, 2000];

$Q_{meat}^w$  — суточный объем воды, потребляемый мясным скотом, в случае отсутствия экспериментальных данных можно принять равным 0,04 м<sup>3</sup>/сут [Generic, 2000].

Описание остальных параметров, входящих в формулы (П2.14) и (П2.15), приведено в пояснениях к формулам (П2.16) – (П2.17).

Коэффициенты перехода по молочной и мясной цепочке рассчитываются по формулам [Generic, 2000]:

$$K_2^{r, \text{МОЛОКО}} = K_{корм,r}^2 \cdot F_{\text{молоко},r}^m \cdot Q_{\text{МОЛОКО}}^m \cdot e^{-\lambda_r \cdot t_m}, \quad (П2.16)$$

$$K_2^{r, \text{МЯСО}} = K_{корм,r}^2 \cdot F_{\text{мясо},r}^f \cdot Q_{\text{МЯСО}}^f \cdot e^{-\lambda_r \cdot t_f}, \quad \text{где} \quad (П2.17)$$

$\lambda_r$  — постоянная распада, сут<sup>-1</sup>;

$Q_{\text{МОЛОКО}}^m$  — суточная масса корма, потребляемая молочным скотом (в соответствии с [Generic, 2000] принимается равной 16 кг (сухого вещества)/сут);

$Q_{\text{МЯСО}}^f$  — суточная масса корма, потребляемая мясным скотом (в соответствии с [Generic, 2000] принимается равной 12 кг (сухого вещества)/сут);

$F_{\text{МОЛОКО},r}^m$  — доля активности радионуклида  $r$  (от суточного потребления корма скотом), которая попадает в литр молока, сут/л;

$F_{\text{МЯСО},r}^f$  — доля активности радионуклида  $r$  (от суточного потребления корма скотом), которая попадает в килограмм мяса, сут/кг;

$t_m$  — время между надоем молока и его потреблением (в соответствии с [Generic, 2000] принимается равным 1 суткам);

$t_f$  — время между забоем скота и потреблением мяса (в соответствии с [Generic, 2000] принимается равным 20 суткам);

$K_{корм,r}^2$  — коэффициент перехода «выпадение из атмосферы (полив) – поступление в корм» радионуклида  $r$  по корневому пути, м<sup>2</sup>·год/кг.

Коэффициенты перехода по молочной и мясной цепочкам за счет выпаса скота, в соответствии с [Generic, 2000], рассчитываются по формулам (П2.18) и (П2.19):



$$K_{milk(pastur\delta,r)} = K_{forager} \cdot F_{milk,r}^m \cdot Q_{milk}^m \cdot e^{-\lambda_r \cdot t_m}, \quad (П2.18)$$

$$K_{meat(pastur\delta,r)} = K_{forager} \cdot F_{meat,r}^f \cdot Q_{meat}^f \cdot e^{-\lambda_r \cdot t_f}, \quad (П2.19)$$

где входящие в формулы (П2.18) и (П2.19) величины описаны в разделе 4.1 [Generic, 2000]. Величина  $K_{forage,r}$ , в соответствии с [Generic, 2000], рассчитывается по формуле:

$$K_{forager} = K_{forager}^1 \cdot f_p + K_{forager}^2 \cdot (1 - f_p), \quad \text{где} \quad (П2.20)$$

$f_p$  — доля года, в течение которой скот питается подножным кормом (в случае отсутствия фактических данных этот параметр можно принять равным 0,7 в соответствии с [Generic, 2000]);

$K_{forage,r}^1$  — коэффициент перехода при выпасе скота, рассчитываемый в соответствии с [Generic, 2000] аналогично коэффициенту  $K_{vegs,r}$ , со следующими параметрами:  $t_h = 0$ ,  $t_e = 30$  сут, с использованием параметра  $\alpha_1$ , равного 3 м<sup>2</sup>/кг (сухого веса), вместо  $\alpha_2$ , и с использованием  $FvI_r$  вместо  $Fv_r$ ;

$K_{forage,r}^2$  — коэффициент перехода при стойловом содержании скота, рассчитываемый в соответствии с [Generic, 2000] аналогично коэффициенту  $K_{vegs,r}$ , со следующими параметрами:  $t_h = 90$  сут,  $t_e = 30$  сут, с использованием параметра  $\alpha_1$ , равного 3 м<sup>2</sup>/кг (сухого веса), вместо  $\alpha_2$ , и с использованием  $FvI_r$  вместо  $Fv_r$ .

Годовые потребления пищевых продуктов лицами из различных возрастных групп оцениваются с помощью формулы (П1.13) Приложения 1.

Для расчета МУА  $r$ -го радионуклида в воде водного объекта для пути внутреннего облучения, обусловленного заглатыванием воды при купании, можно использовать формулу:

$$MVA_r^{WD} = \frac{\delta}{\varepsilon_{\text{нищ}}^r \cdot V_{WD} \cdot \tau_{\text{купание}}}, \quad \text{где} \quad (П2.21)$$

$V_{WD}$  — промежуточный параметр, равный объему воды, заглатываемой человеком при купании, в предположении, что купание происходит 24 часа в сутки 365 суток за год, м<sup>3</sup>/год (можно принять равным 0,429 м<sup>3</sup>/год для детей до 17 лет и 0,184 м<sup>3</sup>/год для взрослых).

Используемые в формулах (П2.1) – (П2.5) и (П2.21) значения параметра  $\tau$  для различных путей внешнего и внутреннего облучения  $j$  приведены в таблице П2.2.

Для расчета МУА трития в воде водного объекта в соответствии с [Generic, 2000] можно использовать следующую формулу:

$$MVA_{3H} = \frac{\delta}{g_{3H} \cdot 10^{-3}}, \quad \text{где} \quad (П2.22)$$

$g_{3H}$  — дозовый коэффициент для <sup>3</sup>H принимается равным 2,6 · 10<sup>-8</sup> (Зв·л)/(Бк·год) [Generic, 2000].

## П2.2 Расчет факторов разбавления

Для определения величины фактора разбавления (формулы (3.11) – (3.13) основного текста) требуется проведение анализа водной системы с целью определения гидрологических характеристик водной системы (размеры и расход рек, размеры и проточность озер и

водохранилищ). Необходимые для расчета характеристики выбирают из гидрологических данных, полученных на протяжении последних 30 лет, для наименее водного года. При отсутствии данных по расходу выбираются гидрологические характеристики, соответствующие трети от среднегодового расхода или проточности рек и озер.

В ходе анализа водной системы должны быть выделены следующие типовые элементы, в виде комбинации которых может быть представлено большинство реальных водных систем:

- водный объект, являющийся водотоком, или участок такого водного объекта, на котором имеется явно выраженное течение, отсутствуют резкие изменения глубины и ширины водного объекта, направление осредненной скорости постоянно по всей глубине, количество воды, привносимое боковыми притоками, мало по сравнению с расходом основного потока и отсутствуют устойчивые водоворотные области (далее – однородный поток);
- водный объект, являющийся водоемом, площадь поверхности которого не превышает 400 км<sup>2</sup> (далее – однородный водоем);
- водный объект, являющийся водоемом (или частью водоема), у которого отсутствуют типовые признаки, определяющие однородный водоем, вследствие чего распределение радионуклидов в нем не принимается равномерным (далее – большой водоем). Большими водоемами следует, как правило, считать отдельные части морей или больших озер (проливы, заливы, в том числе бухты, лиманы, губы и другие отдельные прибрежные части морей или озер).

Для однородного потока для любого радионуклида  $r$  фактор разбавления  $\Phi$  для ближнего, по отношению к источнику сброса, участка водного объекта, для которого выполняется соотношение  $x < 7 \cdot H$ , где  $x$  – продольная координата вдоль по течению водотока с началом в точке сброса, м, а  $H$  – глубина водотока, соответствующая минимальному за последние 30 лет расходу воды в водотоке с учетом притоков, м, рассчитывается по формуле, не учитывающей разбавление сброса:

$$\Phi = \Phi 1 = \frac{1}{3,15 \cdot 10^7 \cdot Q_{disch}}, \quad (П2.23)$$

а для участков водного объекта, на которых соотношение  $x < 7 \cdot H$  не выполняется, - по формуле, учитывающей разбавление сброса:

$$\Phi = \Phi 2 = \frac{1}{3,15 \cdot 10^7 (Q + Q_{disch})} \cdot \left[ 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \exp \left( - \frac{n^2 \pi^2 (x + \xi) D_{mnp}}{B^2 \cdot V} \right) \cdot \cos \left( \frac{z_s \pi n}{B} \right) \cdot \cos \left( \frac{z \pi n}{B} \right) \right], \quad \text{где} \quad (П2.24)$$

$Q_{disch}$  — средний расход воды в сбросном канале источника сброса, м<sup>3</sup>/с;

$Q$  — минимальный за последние 30 лет расход воды в водотоке с учетом притоков, м<sup>3</sup>/с;

$D_{mnp}$  — коэффициент турбулентной дисперсии в поперечном к течению направлении  $z$ , м<sup>2</sup>/с;

$B$  и  $V$  — соответственно ширина, м, и скорость водотока, м/с, соответствующие минимальному за последние 30 лет расходу воды в водотоке;

$z$  — поперечная координата водотока, м;

$z_s$  — поперечная координата точки сброса, м;

$\xi$  — параметр, м, значение которого определяется соотношениями:

$$\xi(\mu) = \begin{cases} \mu - 7 \cdot H, & \text{если } \Phi 2(x = 7 \cdot H) > \Phi 1 \\ 0, & \text{если } \Phi 2(x = 7 \cdot H) < \Phi 1 \end{cases}, \quad (П2.25)$$

где  $\mu$  – решение уравнения

$$\Phi_2(x) = \Phi_1 \tag{П2.26}$$

в области изменения переменной  $x$   $0 < x < 7 \cdot H$  при  $\zeta = 0$ .

Для пути облучения лиц из населения, обусловленного внутренним поступлением радионуклидов за счет употребления в пищу водных биологических ресурсов животного происхождения, фактор разбавления  $\Phi$  рассчитывается с помощью формулы (П2.23); формула (П2.24) и соотношения (П2.25) – (П2.26) при этом не используются.

Для пути облучения лиц из населения, обусловленного внутренним поступлением радионуклидов за счет употребления в пищу водных биологических ресурсов растительного происхождения, фактор разбавления  $\Phi$  рассчитывается либо с помощью формулы (П2.23), либо с помощью формулы (П2.24) и соотношений (П2.25) – (П2.26), в зависимости от места нахождения критического участка.

Поскольку на всем протяжении однородного потока такие характеристики водотока, как  $B$ ,  $V$  и  $Q$ , не должны значительно отличаться от средних значений по водотоку, то:

1. эти параметры должны определяться на участке, который наиболее характерен для данного однородного потока;

2. если имеют место значительные изменения этих характеристик вдоль водотока, то данный водоток должен быть разбит на несколько «однородных потоков» (несколько участков). Для каждого из этих участков должно быть вычислено значение фактора разбавления, соответствующее именно этому участку, а затем – вычислен общий фактор разбавления.

При расчете фактора разбавления гидрологические параметры водотока, такие, как  $B$ ,  $Q$ ,  $H$ ,  $V$ , определяются с учетом гидрологических изысканий или по данным гидрологической сети наблюдений (значения принимаются для наименее водного года за последние 30 лет наблюдений).

Для определения коэффициента турбулентной дисперсии в поперечном к течению направлении  $D_{\text{тип}}$  рассматриваемого участка реки или водотока предпочтительно использовать результаты натурных исследований. Для действующих организаций этот коэффициент может быть определен по данным изучения рассеяния известного радионуклида или тепловых сбросов в двух створах реки, расположенных ниже сброса в соответствии с формулой:

$$D_{\text{тип}} = \frac{L_2^2 - L_1^2}{32 \cdot (t_2 - t_1)}, \quad \text{где} \tag{П2.27}$$

$L_1$ ,  $L_2$  — ширина шлейфа рассеяния  $r$ -го радионуклида или подогретых вод по поперечному сечению потока для первого и второго створов, соответственно, м;

$t_1$  и  $t_2$  — время добегания воды от сброса до первого и второго створа, соответственно, с.

В случае отсутствия результатов натурных исследований допускается использовать расчетные зависимости:

$$D_{\text{тип}} = \alpha_{\text{riv}} H \cdot u_* \tag{П2.28}$$

$\alpha_{\text{riv}}$  — коэффициент пропорциональности, который зависит от морфометрических характеристик, и для малых рек и каналов находится в диапазоне значений  $0,1 - 0,2$ , а для средних и больших рек – в диапазоне значений  $0,6 - 2,0$ ;

$u_*$  — скорость трения у дна, м/с, определяемая по формуле:

$$u_* = \sqrt{gHI}, \quad \text{где} \quad (\text{П2.29})$$

$I$  — гидравлический уклон, безразмерен;

$H$  — глубина водотока, соответствующая минимальному за последние 30 лет расходу воды в водотоке с учетом притоков, м,

$g$  — ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ .

Для оценок значения величины  $u_*$  допустимо использовать зависимость:

$$u_* = 0,1 \cdot V, \quad \text{где} \quad (\text{П2.30})$$

$V$  — скорость водотока,  $\text{м/с}$ .

Для однородного водоема фактор разбавления  $r$ -го радионуклида при постоянном сбросе в равновесных условиях определяется по формуле:

$$\Phi_r = [W_s + W_f + W_t + W_e + \lambda_r \cdot V_p]^{-1}, \quad \text{где} \quad (\text{П2.31})$$

$W_s$  — минимальная за последние 30 лет проточность водоема,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;

$W_f$  — годовой фильтрационный расход водоема,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;

$W_t$  — безвозвратные потери на технические нужды,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;

$W_e$  — дополнительный член, равный нулю для всех радионуклидов, кроме трития, для которого он принимается равным годовому испарению воды из водоема,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;

$V_p$  — объем водоема, соответствующий значению минимальной за последние 30 лет проточности водоема,  $\text{м}^3$ ;

$\lambda_r$  — постоянная распада  $r$ -го радионуклида,  $\text{с}^{-1}$ .

При сбросе в большой водоем факторы разбавления  $\Phi_r$  для  $r$ -го радионуклида рассчитываются по следующим формулам:

1) для путей внешнего облучения лиц из населения:

$$\Phi_r = \frac{962 \cdot U^{0,17}}{D \cdot x^{1,17}} \cdot \exp\left[\frac{-7,28 \cdot 10^5 \cdot U^{2,34} \cdot y_0^2}{x^{2,34}}\right] \cdot \exp\left(\frac{-\lambda_r \cdot x}{U}\right), \quad \text{где} \quad (\text{П2.32})$$

$U$  — скорость прибрежного течения,  $\text{м/с}$ ;

$D$  — глубина большого водоема в области точки сброса, м;

$x$  — расстояние от источника сброса радиоактивных веществ до точки расчета по берегу, м;

$y_0$  — расстояние от береговой линии до точки сброса по нормали к береговой линии, м;

2) для путей облучения лиц из населения, обусловленных внутренним поступлением радионуклидов за счет употребления в пищу водных биологических ресурсов:

$$\Phi_r = \frac{962 \cdot U^{0,17}}{D \cdot x^{1,17}} \cdot \exp\left(-\frac{\lambda_r \cdot x}{U}\right), \quad \text{где} \quad (\text{П2.33})$$

входящие в формулу (П2.33) величины определены выше.

При этом значения входящих в формулы (П2.32) и (П2.33) пространственных переменных должны удовлетворять следующим условиям:

$$\frac{y - y_0}{x} \ll 3,7 \quad \text{и} \quad 7 \cdot D < x, \quad \text{где} \quad (П2.34)$$

$y$  — расстояние от береговой линии до точки, где определяется фактор разбавления, м.

После того, как реальная водная система представлена в виде комбинаций типовых элементов (однородных потоков, однородных водоемов или больших водоемов), следует сначала вычислить факторы разбавления для каждого из этих элементов, а потом определить общий фактор разбавления водной системы.

К примеру, в случае, если сброс осуществляется в однородный водоем, связанный протокой с другим однородным водоемом, в котором осуществляется водопользование, общий фактор разбавления может быть рассчитан по формуле:

$$\Phi = 3,15 \cdot 10^7 \cdot Q_{AB} \cdot \Phi_A \cdot \Phi_B, \quad \text{где} \quad (П2.35)$$

$\Phi_A$  и  $\Phi_B$  — факторы разбавления в первом и втором водоеме соответственно, год/м<sup>3</sup>,

$Q_{AB}$  — среднегодовое поступление воды из первого водоема во второй по протоке, м<sup>3</sup>/с;

$3,15 \cdot 10^7$  — количество секунд в году, с/год.

### П2.3 Значения ряда параметров для наиболее биологически значимых радионуклидов

Таблица П2.1 – Коэффициенты межфазного распределения «вода - почва»  $K_d$  для морской и пресной воды и коэффициенты накопления радионуклидов в морской и пресноводной рыбе  $K_p$ , м<sup>3</sup>/кг

Элемент	Коэффициенты межфазного распределения «вода - почва»		Коэффициенты накопления радионуклидов в рыбе	
	$K_d^r$ , морская	$K_d^r$ , пресная	$K_p$ , морская	$K_p$ , пресноводная
Ac	$2 \cdot 10^3$		$5 \cdot 10^{-2}$	
Ag	$1 \cdot 10^1$		$1 \cdot 10^1$	$2,1 \cdot 10^{-1}$
Al				$3 \cdot 10^{-1}$
Am	$2 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$
As				$9,5 \cdot 10^{-1}$
Au				$9 \cdot 10^{-1}$
Ba	$2 \cdot 10^{-1}$	$1,6 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^{-2}$	$3,2 \cdot 10^{-2}$
Bk	$2 \cdot 10^3$		$1 \cdot 10^{-1}$	
Br				$3,7 \cdot 10^{-1}$
C			$2 \cdot 10^1$	$3,2 \cdot 10^3$
Ca	$5 \cdot 10^{-1}$		$2 \cdot 10^{-3}$	$9,7 \cdot 10^{-2}$
Cd	$3 \cdot 10^1$		$5 \cdot 10^0$	
Ce	$3 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^0$
Cf	$2 \cdot 10^3$		$1 \cdot 10^{-1}$	
Cl	$3 \cdot 10^{-5}$		$6 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-1}$
Cm	$2 \cdot 10^3$	$7 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^{-1}$	
Co	$3 \cdot 10^2$	$3,9 \cdot 10^2$	$7 \cdot 10^{-1}$	$5,6 \cdot 10^{-1}$
Cr	$5 \cdot 10^1$		$2 \cdot 10^{-1}$	$1,2 \cdot 10^{-1}$
Cs	$4 \cdot 10^{-1}$	$5,2 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^{-1}$	$1,5 \cdot 10^1$
Cu				$7,2 \cdot 10^{-1}$
Dy	$1 \cdot 10^3$		$3 \cdot 10^{-1}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$
Eu	$2 \cdot 10^3$	$9 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$	$7,2 \cdot 10^{-1}$
Fe	$3 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^0$	$3 \cdot 10^1$	$2 \cdot 10^{-1}$
Gd	$2 \cdot 10^3$		$3 \cdot 10^{-1}$	

Продолжение таблицы П2.1

Элемент	Коэффициенты межфазного распределения «вода - почва»		Коэффициенты накопления радионуклидов в рыбе	
	$K_d^r$ , морская	$K_d^r$ , пресная	$K_p$ , морская	$K_p$ , пресноводная
Hf	$1 \cdot 10^4$		$5 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$
Hg	$4 \cdot 10^0$		$3 \cdot 10^1$	$1,7 \cdot 10^1$
I	$7 \cdot 10^{-2}$	$3,4 \cdot 10^2$	$9 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-1}$
In	$5 \cdot 10^1$		$5 \cdot 10^{-1}$	
Ir	$1 \cdot 10^2$		$2 \cdot 10^{-2}$	
K				$9 \cdot 10^0$
Kr	$1 \cdot 10^{-3}$			
La				$6,6 \cdot 10^{-1}$
Mg				$1,9 \cdot 10^{-1}$
Mn	$2 \cdot 10^3$	$1,9 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^0$	$1,4 \cdot 10^{-2}$
Mo				$2 \cdot 10^{-2}$
Na	$1 \cdot 10^{-4}$		$1 \cdot 10^{-3}$	$6,1 \cdot 10^{-1}$
Nb	$8 \cdot 10^2$		$3 \cdot 10^{-2}$	
Ni	$2 \cdot 10^1$		$1 \cdot 10^0$	$4,4 \cdot 10^{-2}$
Np	$1 \cdot 10^0$	$1 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-3}$	
P				$1,7 \cdot 10^2$
Pa	$5 \cdot 10^3$		$5 \cdot 10^{-2}$	
Pb	$1 \cdot 10^2$		$2 \cdot 10^{-1}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$
Pd	$6 \cdot 10^0$		$3 \cdot 10^{-1}$	
Pm	$2 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^1$	$3 \cdot 10^{-1}$	
Po	$2 \cdot 10^4$		$2 \cdot 10^0$	$1,7 \cdot 10^{-1}$
Pr	$5 \cdot 10^3$			
Pu	$1 \cdot 10^2$	$5,2 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^1$
Ra	$2 \cdot 10^0$	$5,2 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^{-1}$	$1,5 \cdot 10^{-1}$
Rb				$1,4 \cdot 10^1$
Ru	$4 \cdot 10^1$	$9,3 \cdot 10^1$	$2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-1}$
S	$5 \cdot 10^{-4}$		$1 \cdot 10^{-3}$	
Sb	$2 \cdot 10^{-1}$	$4,6 \cdot 10^1$	$6 \cdot 10^{-1}$	$3,6 \cdot 10^{-1}$
Sc	$5 \cdot 10^3$		$1 \cdot 10^0$	$7,3 \cdot 10^{-1}$
Se	$3 \cdot 10^0$		$1 \cdot 10^1$	$9,4 \cdot 10^0$
Sm	$3 \cdot 10^3$		$3 \cdot 10^{-1}$	
Sn	$4 \cdot 10^3$		$5 \cdot 10^2$	
Sr	$8 \cdot 10^{-3}$	$6,3 \cdot 10^0$	$3 \cdot 10^{-3}$	$6,9 \cdot 10^{-2}$
Ta	$2 \cdot 10^2$		$6 \cdot 10^{-2}$	
Tb	$2 \cdot 10^3$		$6 \cdot 10^{-2}$	$1,7 \cdot 10^0$
Tc	$1 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-1}$	$8 \cdot 10^{-2}$	
Te	$1 \cdot 10^{-2}$		$1 \cdot 10^0$	$2,1 \cdot 10^{-1}$
Th	$3 \cdot 10^3$	$2,7 \cdot 10^4$	$6 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-3}$
Ti				$3,5 \cdot 10^{-1}$
Tl	$2 \cdot 10^{-1}$		$5 \cdot 10^0$	$1 \cdot 10^1$
Tm	$1 \cdot 10^3$		$3 \cdot 10^{-1}$	
U	$1 \cdot 10^0$	$1 \cdot 10^0$	$1 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$
V				$2,4 \cdot 10^{-1}$
W	$3 \cdot 10^1$		$9 \cdot 10^{-2}$	
Xe	$1 \cdot 10^{-3}$			
Y	$9 \cdot 10^2$		$2 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-1}$
Yb	$1 \cdot 10^3$		$2 \cdot 10^{-1}$	
Zn	$7 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^0$	$1 \cdot 10^0$	$1,6 \cdot 10^1$
Zr	$2 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^1$	$2 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-1}$

Таблица П2.2 – Время, затрачиваемое на виды водопользования (в долях года)

Вид водопользования	$\tau_i$
Купание	0,011
Рыболовство	0,022
Пребывание на пляже	0,022
Пребывание на заливных землях	0,046
Пребывание на орошаемых территориях	0,046

### Приложение 3

В таблицах ПЗ.1 и ПЗ.2 приведены референтные параметры для некоторых видов биоты, которые распространены в РФ и используются в моделях для оценки радиационного влияния на местные экосистемы. В таблицах использованы данные из российских источников, а также из работ [Ulanovsky and Pröhl, 2008; Ulanovsky et al., 2008]

Таблица ПЗ.1 - Характерные размеры референтных водных организмов при их аппроксимации эллипсоидами для оценки мощности дозы внутреннего и внешнего облучения от различных радионуклидов

Объект биоты		Аппроксимация эллипсоидом (размеры, см)	Масса, кг
Рыба пелагическая	речной окунь	30 / 6	0,85
	семга	100 / 19	28
	рыба мирная	40 / 7	1,5
	рыба хищная	50 / 8	2,5
Рыба придонная	морская камбала	50 / 20 / 3	1,5
	сом	1 / 15	18
Моллюски	речная дрейссена	10 / 4,5 / 3	0,07
Водные растения	элодея канадская	100 / 0,1 / 0,2	0,001
Птицы водоплавающие	морянка	30 / 10 / 8	1,3
Млекопитающие		33 / 15	3,9

Таблица ПЗ.2 - Характерные размеры референтных объектов наземной биоты при их аппроксимации эллипсоидами для оценки доз внутреннего и внешнего облучения

Объект биоты		Аппроксимация эллипсоидом или окружностью (размеры, см)	Масса, кг
Мелкое млекопитающее	полевая мышь	11 / 2,2	0,04
	заяц-русак	60 / 11 / 10	5
	ласка	40 / 7 / 7	1,5
	обыкновенная лисица	70 / 8 / 8	8
Крупное млекопитающее	косуля европейская	130 / 20	40
	олень благородный	180 / 26 / 25	95
Птица	полевой жаворонок	17 / 1,5	0,03
	чайка обыкновенная	35 / 3	0,25
Пресмыкающееся	уж обыкновенный	100 / 0,015	0,7
Земноводное	съедобная лягушка	8 / 3 / 2,5	0,03
Брюхоногий моллюск	улитка	1,7 / 1,5	0,003
Земляной червь	дождевой червь	10 / 0,6	0,003
Пчела	медоносная пчела	2 / 0,75	0,0006
Травянистое растение	ковыль Лессинга	5 / 1	$2,62 \cdot 10^{-3}$
	костер безостый	80 / 0,4	0,01
	овсяница луговая	1 / 0,4	0,012
Лишайник	ягель	10 / 0,07	$4 \cdot 10^{-5}$
Дерево	сосна обыкновенная	1000 / 30	471



Факторы дозовой конверсии для оценки мощности дозы облучения биоты

Таблица П4.1 - Факторы дозовой конверсии для внутреннего и внешнего облучения человека и критической группы [ЕРА, 1993]

Радионуклиды	Человек			Критическая группа			
	$DCF^{air}$ (мкГр/сут)/(Бк/м3)	$DCF^{water\_fresh}$ (мкГр/сут)/(Бк/кг)	$DCF^{water\_sea}$ (мкГр/сут)/(Бк/кг)	$DCF^{air}$ (мкГр/сут)/(Бк/м3)	$DCF^{water\_fresh}$ (мкГр/сут)/(Бк/кг)	$DCF^{water\_sea}$ (мкГр/сут)/(Бк/кг)	$DCF^{soil\_pl}$ (мкГр/сут)/(Бк/м2)
Ag-110m	1,18E-02	2,54E-02	2,54E-02	1,18E-02	2,54E-02	2,54E-02	2,29E-04
Am-241	7,07E-05	1,62E-04	1,62E-04	7,07E-05	1,62E-04	1,62E-04	2,38E-06
Ba-140	7,41E-04	1,62E-03	1,62E-03	7,41E-04	1,62E-03	1,62E-03	1,56E-05
C-14	1,94E-08	3,79E-08	3,79E-08	1,94E-08	3,79E-08	3,79E-08	1,39E-09
Cs-45	7,46E-08	1,45E-07	1,45E-07	7,46E-08	1,45E-07	1,45E-07	3,98E-09
Cd-109	2,54E-05	5,85E-05	5,85E-05	2,54E-05	5,85E-05	5,85E-05	1,94E-06
Ce-141	2,96E-04	6,58E-04	6,58E-04	2,96E-04	6,58E-04	6,58E-04	6,38E-06
Ce-144	7,37E-05	1,65E-04	1,65E-04	7,37E-05	1,65E-04	1,65E-04	1,75E-06
Cf-252	4,37E-07	1,02E-06	1,02E-06	4,37E-07	1,02E-06	1,02E-06	6,24E-08
Cl-36	1,93E-06	3,87E-06	3,87E-06	1,93E-06	3,87E-06	3,87E-06	5,81E-08
Cm-242	4,92E-07	1,15E-06	1,15E-06	4,92E-07	1,15E-06	1,15E-06	8,26E-08
Cm-243	5,08E-04	1,12E-03	1,12E-03	5,08E-04	1,12E-03	1,12E-03	1,08E-05
Cm-244	4,24E-07	9,94E-07	9,94E-07	4,24E-07	9,94E-07	9,94E-07	7,59E-08
Co-57	4,85E-04	1,08E-03	1,08E-03	4,85E-04	1,08E-03	1,08E-03	9,94E-06
Co-58	4,11E-03	8,90E-03	8,90E-03	4,11E-03	8,90E-03	8,90E-03	8,21E-05
Co-60	1,09E-02	2,37E-02	2,37E-02	1,09E-02	2,37E-02	2,37E-02	2,03E-04
Cr-51	1,30E-04	2,85E-04	2,85E-04	1,30E-04	2,85E-04	2,85E-04	2,66E-06
Cs-134	6,54E-03	1,42E-02	1,42E-02	6,54E-03	1,42E-02	1,42E-02	1,31E-04
Cs-135	4,88E-08	9,50E-08	9,50E-08	4,88E-08	9,50E-08	9,50E-08	2,88E-09
Cs-136	9,16E-03	2,00E-02	2,00E-02	9,16E-03	2,00E-02	2,00E-02	1,81E-04
Cs-137	2,49E-03	5,41E-03	5,41E-03	2,49E-03	5,41E-03	5,41E-03	5,07E-05
Eu-152	4,88E-03	1,06E-02	1,06E-02	4,88E-03	1,06E-02	1,06E-02	9,50E-05
Eu-154	5,30E-03	1,15E-02	1,15E-02	5,30E-03	1,15E-02	1,15E-02	1,03E-04
H-3	2,86E-08			2,86E-08			
I-125	4,51E-05	1,06E-04	1,06E-04	4,51E-05	1,06E-04	1,06E-04	3,69E-06

Продолжение таблицы П4.1

Радионуклиды	Человек				Критическая группа			
	$DCF^{air}$ (мкгР/сут)/(Бк/м3)	$DCF^{water\_fresh}$ (мкгР/сут)/(Бк/кг)	$DCF^{water\_sea}$ (мкгР/сут)/(Бк/кг)	$DCF^{soil\_pl}$ (мкгР/сут)/(Бк/м2)	$DCF^{air}$ (мкгР/сут)/(Бк/м3)	$DCF^{water\_fresh}$ (мкгР/сут)/(Бк/кг)	$DCF^{water\_sea}$ (мкгР/сут)/(Бк/кг)	$DCF^{soil\_pl}$ (мкгР/сут)/(Бк/м2)
I-129	3,28E-05	7,70E-05	7,70E-05	2,23E-06	3,28E-05	7,70E-05	7,70E-05	2,23E-06
I-131	1,57E-03	3,44E-03	3,44E-03	3,25E-03	1,57E-03	3,44E-03	3,44E-03	3,25E-03
I-132	9,68E-03	2,10E-02	2,10E-02	1,91E-04	9,68E-03	2,10E-02	2,10E-02	1,91E-04
I-133	2,54E-03	5,52E-03	5,52E-03	5,16E-05	2,54E-03	5,52E-03	5,52E-03	5,16E-05
Ir-192	3,38E-03	7,38E-03	7,38E-03	6,94E-05	3,38E-03	7,38E-03	7,38E-03	6,94E-05
K-40	6,96E-04	1,50E-03	1,50E-03	1,26E-05	6,96E-04	1,50E-03	1,50E-03	1,26E-05
La-140	1,01E-02	2,19E-02	2,19E-02	1,87E-04	1,01E-02	2,19E-02	2,19E-02	1,87E-04
Mn-54	3,53E-03	7,67E-03	7,67E-03	7,02E-05	3,53E-03	7,67E-03	7,67E-03	7,02E-05
Nb-94	6,65E-03	1,44E-02	1,44E-02	1,32E-04	6,65E-03	1,44E-02	1,44E-02	1,32E-04
Nb-95	3,23E-03	7,01E-03	7,01E-03	6,46E-05	3,23E-03	7,01E-03	7,01E-03	6,46E-05
Ni-59								
Ni-65	2,41E-03	5,22E-03	5,22E-03	4,45E-05	2,41E-03	5,22E-03	5,22E-03	4,45E-05
Np-237	8,90E-05	2,00E-04	2,00E-04	2,48E-06	8,90E-05	2,00E-04	2,00E-04	2,48E-06
P-32	8,55E-06	1,64E-05	1,64E-05	2,51E-07	8,55E-06	1,64E-05	1,64E-05	2,51E-07
P-33	7,11E-08	1,38E-07	1,38E-07	3,85E-09	7,11E-08	1,38E-07	1,38E-07	3,85E-09
Pa-231	1,49E-04	3,27E-04	3,27E-04	3,52E-06	1,49E-04	3,27E-04	3,27E-04	3,52E-06
Pb-210	4,87E-06	1,13E-05	1,13E-05	2,14E-07	4,87E-06	1,13E-05	1,13E-05	2,14E-07
Po-210	3,59E-08	7,80E-08	7,80E-08	7,16E-10	3,59E-08	7,80E-08	7,80E-08	7,16E-10
Pu-238	4,22E-07	9,85E-07	9,85E-07	7,24E-08	4,22E-07	9,85E-07	9,85E-07	7,24E-08
Pu-239	3,66E-07	8,29E-07	8,29E-07	3,17E-08	3,66E-07	8,29E-07	8,29E-07	3,17E-08
Pu-240	4,10E-07	9,59E-07	9,59E-07	6,94E-08	4,10E-07	9,59E-07	9,59E-07	6,94E-08
Pu-241	6,26E-09	1,40E-08	1,40E-08	1,67E-10	6,26E-09	1,40E-08	1,40E-08	1,67E-10
Ra-226	7,62E-03	6,00E-05	6,00E-05	5,56E-07	7,62E-03	6,00E-05	6,00E-05	5,56E-07
Ra-228	1,39E-03				1,39E-03			
Ru-103	1,94E-03	4,22E-03	4,22E-03	4,00E-05	1,94E-03	4,22E-03	4,22E-03	4,00E-05
Ru-106	8,99E-04				8,99E-04			
S-35	2,10E-08	4,10E-08	4,10E-08	1,45E-09	2,10E-08	4,10E-08	4,10E-08	1,45E-09
Sb-124	7,91E-03	1,71E-02	1,71E-02	1,48E-04	7,91E-03	1,71E-02	1,71E-02	1,48E-04
Sb-125	1,75E-03	3,79E-03	3,79E-03	3,67E-05	1,75E-03	3,79E-03	3,79E-03	3,67E-05

Продолжение таблицы П4.1

Радионуклид Д	Человек			Критическая группа			
	$DCF^{air}$ (мкгГр/сут)/(Бк/м3)	$DCF^{water\_fresh}$ (мкгГр/сут)/(Бк/кг)	$DCF^{water\_sea}$ (мкгГр/сут)/(Бк/кг)	$DCF^{air}$ (мкгГр/сут)/(Бк/м3)	$DCF^{water\_fresh}$ (мкгГр/сут)/(Бк/кг)	$DCF^{water\_sea}$ (мкгГр/сут)/(Бк/кг)	$DCF^{soil\_pl}$ (мкгГр/сут)/(Бк/м2)
Se-75	1,60E-03	3,52E-03	3,52E-03	1,60E-03	3,52E-03	3,52E-03	3,26E-05
Se-79	2,62E-08	5,12E-08	5,12E-08	2,62E-08	5,12E-08	5,12E-08	1,79E-09
Sr-89	6,68E-06	1,29E-05	1,29E-05	6,68E-06	1,29E-05	1,29E-05	1,96E-07
Sr-90	6,51E-07	1,26E-06	1,26E-06	6,51E-07	1,26E-06	1,26E-06	2,45E-08
Tc-99	1,40E-07	2,71E-07	2,71E-07	1,40E-07	2,71E-07	2,71E-07	6,74E-09
Te-129m	1,34E-04	2,93E-04	2,93E-04	1,34E-04	2,93E-04	2,93E-04	3,27E-06
Te-132	8,90E-04	1,97E-03	1,97E-03	8,90E-04	1,97E-03	1,97E-03	1,97E-05
Th-227	4,22E-04	9,24E-04	9,24E-04	4,22E-04	9,24E-04	9,24E-04	8,99E-06
Th-228	7,95E-06	1,77E-05	1,77E-05	7,95E-06	1,77E-05	1,77E-05	2,03E-07
Th-230	1,50E-06	3,40E-06	3,40E-06	1,50E-06	3,40E-06	3,40E-06	6,48E-08
Th-231	4,51E-05	1,02E-04	1,02E-04	4,51E-05	1,02E-04	1,02E-04	1,60E-06
Th-232	7,53E-07	1,72E-06	1,72E-06	7,53E-07	1,72E-06	1,72E-06	4,76E-08
Th-234	2,92E-05	6,60E-05	6,60E-05	2,92E-05	6,60E-05	6,60E-05	7,19E-07
U-234	6,59E-07	1,51E-06	1,51E-06	6,59E-07	1,51E-06	1,51E-06	6,46E-08
U-235	6,22E-04	1,37E-03	1,37E-03	6,22E-04	1,37E-03	1,37E-03	1,28E-05
U-238	2,95E-07	6,87E-07	6,87E-07	2,95E-07	6,87E-07	6,87E-07	4,76E-08
Zn-65	2,51E-03	5,43E-03	5,43E-03	2,51E-03	5,43E-03	5,43E-03	4,78E-05
Zr-95	3,11E-03	6,76E-03	6,76E-03	3,11E-03	6,76E-03	6,76E-03	6,25E-05

Таблица П4.2 - Факторы дозовой конверсии для внутреннего и внешнего облучения наземной биоты [FASSET, 2003; ICRP 2008; ERICA]

Радио нукли д	Дождевой червь		Уж обыкновенный		Медоносная пчела		Полевой жаворонок						
	DC (мкГр/су Т)/(Бк/кг)	DCF <sup>inh soil</sup> (мкГр/су Т)/(Бк/кг)	DC (мкГр/су Т)/(Бк/кг)	DCF <sup>inh soil</sup> (мкГр/сут Т)/(Бк/м2)	DC (мкГр/су Т)/(Бк/кг)	DCF <sup>inh soil</sup> (мкГр/сут Т)/(Бк/м2)	DC (мкГр/су Т)/(Бк/кг)	DCF <sup>inh soil</sup> (мкГр/сут Т)/(Бк/м2)					
Ag-110m	1,8E-03	3,5E-02	6,06E-03	3,32E-02	1,27E-02	3,12E-02	1,4E-03	1,34E-02	6,24E-03	1,15E-02	6,24E-03	1,3E-02	1,32E-02
Am-241	7,7E-02	1,5E-04	7,68E-02	2,61E-04	1,92E-06	4,32E-05	7,7E-02	6,24E-05	7,68E-02	4,80E-05	1,73E-06	6,2E-05	5,52E-05
Ba-140	1,2E-02	3,5E-02	1,74E-02	3,50E-02	1,28E-02	3,20E-02	1,1E-02	1,34E-02	1,77E-02	1,25E-02	6,96E-04	1,3E-02	1,25E-02
Cs-134	6,8E-04	4,70E-07	6,96E-04	4,70E-07	6,8E-04	4,70E-07	6,8E-04	4,70E-07	6,96E-04	4,70E-07	6,8E-04	4,70E-07	6,96E-04
Cs-137	1,1E-03	6,5E-11	1,07E-03	1,66E-06	3,27E-11	4,47E-11	1,1E-03	3,60E-11	1,07E-03	3,18E-11	1,07E-03	3,6E-11	3,07E-11
Cs-137	1,2E-03	8,4E-05	1,38E-03	1,31E-04	3,36E-05	6,48E-05	1,2E-03	3,36E-05	1,39E-03	2,30E-05	2,30E-05	3,4E-05	3,36E-05
Cs-137	2,3E-03	6,5E-04	2,53E-03	8,91E-04	2,88E-04	6,00E-04	2,3E-03	2,88E-04	2,64E-03	2,64E-04	2,64E-03	3,0E-04	2,88E-04
Cs-137	1,3E-02	5,5E-04	1,73E-02	1,46E-03	2,06E-04	5,04E-04	9,9E-03	2,16E-04	1,73E-02	1,90E-04	1,73E-02	2,2E-04	2,16E-04
Cs-137	8,4E-02	3,0E-06	8,21E-02	3,18E-06	6,99E-07	2,12E-06	8,4E-02	7,41E-07	8,21E-02	6,79E-07	8,21E-02	7,4E-07	6,73E-07
Cs-137	3,6E-03	1,9E-06	3,84E-03	3,45E-05	1,20E-08	7,68E-07	3,4E-03	7,44E-07	3,84E-03	6,48E-07	3,84E-03	7,5E-07	6,96E-07
Cs-137	8,5E-02	4,3E-06	8,40E-02	4,02E-06	6,48E-08	7,44E-08	8,5E-02	1,13E-06	8,40E-02	4,56E-07	8,40E-02	1,1E-06	1,25E-06
Cs-137	8,2E-02	1,2E-03	8,16E-02	1,50E-03	9,60E-06	4,32E-04	8,2E-02	5,28E-04	8,16E-02	4,56E-04	8,16E-02	5,4E-04	5,04E-04
Cs-137	8,0E-02	3,9E-06	7,92E-02	3,63E-06	5,76E-08	4,32E-08	8,0E-02	1,03E-06	7,92E-02	3,84E-07	7,92E-02	1,0E-06	1,13E-06
Cs-137	3,4E-04	9,7E-04	5,63E-04	1,43E-03	4,32E-04	8,88E-04	3,2E-04	4,80E-04	5,76E-04	4,08E-04	5,76E-04	4,7E-04	4,56E-04
Cs-137	7,3E-04	1,2E-02	2,27E-03	1,17E-02	4,56E-03	1,13E-02	6,1E-04	4,80E-03	2,38E-03	4,08E-03	2,38E-03	4,8E-03	4,80E-03
Cs-137	1,8E-03	3,1E-02	5,43E-03	3,06E-02	1,13E-02	2,88E-02	1,6E-03	1,20E-02	5,76E-03	1,03E-02	5,76E-03	1,2E-02	1,18E-02
Cs-137	7,6E-05	3,7E-04	1,31E-04	3,73E-04	1,44E-04	3,32E-04	7,2E-05	1,53E-04	1,35E-04	1,40E-04	1,35E-04	1,5E-04	1,39E-04
Cs-137	2,60E-03	2,00E-02	3,60E-03	1,87E-02	1,20E-04	8,40E-03	2,30E-03	7,68E-03	5,28E-03	6,72E-03	5,28E-03	7,60E-03	7,20E-03
Cs-137	9,30E-04	1,10E-06	9,36E-04	1,10E-06	9,20E-04	1,10E-06	9,20E-04	1,10E-06	9,36E-04	1,10E-06	9,36E-04	1,10E-06	9,36E-04
Cs-137	2,40E-03	2,70E-02	5,79E-03	2,61E-02	9,84E-03	2,40E-02	2,10E-03	1,06E-02	6,00E-03	9,12E-03	6,00E-03	1,00E-02	1,03E-02
Cs-137	3,40E-03	7,30E-03	3,84E-03	6,78E-03	4,32E-05	2,88E-03	3,20E-03	2,88E-03	4,56E-03	2,40E-03	4,56E-03	2,80E-03	2,64E-03
Cs-137	1,8E-03	1,4E-02	3,69E-03	1,39E-02	5,04E-03	1,27E-02	1,6E-03	5,52E-03	3,84E-03	4,80E-03	3,84E-03	5,4E-03	5,28E-03

Продолжение таблицы П4.2

Радио нукли д	Дождевой червь		Уж обыкновенный				Медоносная пчела				Полевой жаворонок			
	DC (мкг/г/су т)/(Бк/кг)	DCF <sup>in soil</sup> (мкг/г/су т)/(Бк/кг)	DC (мкг/г/су т)/(Бк/кг)	DCF <sup>water-f resh</sup> (мкг/г/су т)/(Бк/кг)	DCF <sup>soil-pl</sup> (мкг/г/су т)/(Бк/М2)	DCF <sup>em soil</sup> (мкг/г/су т)/(Бк/кг)	DC (мкг/г/су т)/(Бк/кг)	DCF <sup>air</sup> (мкг/г/су т)/(Бк/М3)	DCF <sup>soil-pl</sup> (мкг/г/су т)/(Бк/М2)	DCF <sup>em soil</sup> (мкг/г/су т)/(Бк/кг)	DC (мкг/г/су т)/(Бк/кг)	DCF <sup>air</sup> (мкг/г/су т)/(Бк/М3)	DCF <sup>soil-pl</sup> (мкг/г/су т)/(Бк/М2)	DCF <sup>em soil</sup> (мкг/г/су т)/(Бк/кг)
Eu-154	4,0E-03	1,5E-02	6,17E-03	1,51E-02	5,52E-03	1,39E-02	3,7E-03	6,00E-03	9,7E-05	5,9E-03	6,24E-03	5,04E-03	7,92E-05	5,76E-03
H-3	7,9E-05	1,58E-13	7,92E-04	1,58E-13	4,56E-05	1,01E-04	7,9E-05	4,80E-05	2,7E-06	4,7E-05	6,00E-04	3,36E-05	7,92E-05	4,56E-05
I-125	3,3E-04	1,3E-04	5,87E-04	2,62E-04	3,84E-05	2,40E-05	3,1E-04	2,64E-05	1,6E-06	2,8E-05	1,06E-03	2,11E-05	1,97E-06	3,36E-05
I-129	9,1E-04	8,4E-05	9,84E-04	1,77E-04	1,75E-03	1,82E-03	2,6E-03	1,87E-03	3,2E-05	1,9E-03	3,36E-03	1,58E-03	2,64E-05	1,73E-03
I-131	2,7E-03	4,6E-03	2,88E-03	4,54E-03	1,06E-02	2,64E-02	5,6E-03	1,10E-02	1,8E-04	1,1E-02	1,10E-02	9,60E-03	1,10E-02	1,10E-02
I-132	6,5E-03	2,9E-02	1,08E-02	2,76E-02	2,88E-03	6,96E-03	4,8E-03	2,88E-03	5,0E-05	3,0E-03	6,72E-03	2,64E-03	4,71E-03	2,88E-03
I-133	5,2E-03	7,7E-03	6,75E-03	7,35E-03	3,75E-03	8,83E-03	3,0E-03	3,98E-03	6,8E-05	4,0E-03	4,71E-03	3,64E-03	1,01E-05	3,63E-03
Ir-192	3,1E-03	9,8E-03	4,61E-03	9,73E-03	6,96E-04	9,12E-04	5,6E-03	1,08E-02	1,2E-05	7,3E-04	1,13E-02	1,01E-02	1,01E-02	6,96E-04
K-40	6,2E-03	1,9E-03	6,96E-03	2,85E-02	1,04E-02	2,61E-02	6,0E-03	1,08E-02	1,7E-04	1,1E-02	1,13E-02	1,01E-02	1,01E-02	6,96E-04
La-140	6,9E-03	2,9E-02	1,10E-02	2,85E-02	1,04E-02	2,61E-02	6,0E-03	1,08E-02	1,7E-04	1,1E-02	1,13E-02	1,01E-02	1,01E-02	6,96E-04
Mn-54	2,8E-04	1,1E-02	1,58E-02	1,01E-02	3,84E-03	9,60E-03	1,9E-04	4,08E-03	6,8E-05	4,1E-03	1,66E-03	3,60E-03	3,60E-03	4,08E-03
Nb-94	2,6E-03	2,0E-02	3,60E-03	1,89E-02	7,20E-03	8,64E-03	2,4E-03	7,68E-03	1,3E-04	7,7E-03	5,28E-03	6,72E-03	1,08E-04	7,20E-03
Nb-95	8,0E-04	9,9E-03	2,01E-03	9,20E-03	3,60E-03	8,88E-03	7,2E-04	3,84E-03	6,2E-05	3,8E-03	2,09E-03	3,36E-03	1,08E-04	3,60E-03
Ni-59	9,2E-05	2,5E-06	9,12E-05	6,38E-07	3,12E-06	1,68E-06	8,9E-05	2,64E-3	2,64E-3	8,70E-05	9,60E-05	1,58E-39	2,40E-38	2,40E-38
Np-237	6,7E-02	1,8E-04	6,72E-02	2,94E-04	2,09E-06	8,88E-05	6,7E-02	8,64E-05	1,90E-06	8,70E-05	6,72E-02	6,96E-05	1,90E-06	7,92E-05
P-32	8,0E-03		9,36E-03	2,50E-04			7,0E-03				9,36E-03			
P-33	1,1E-03		1,06E-03	1,58E-06			1,0E-03				1,06E-03			
Pu-231	7,0E-02	4,3E-04	6,99E-02	4,48E-04	1,66E-04	3,80E-04	7,0E-02	1,78E-04	3,1E-06	1,8E-04	6,99E-02	1,62E-04	1,46E-07	1,61E-04
Pb-210	5,4E-03	1,4E-05	5,76E-03	9,93E-05	1,61E-07	3,12E-06	5,1E-03	6,96E-06	1,5E-07	7,0E-06	6,00E-03	3,36E-06	1,46E-07	4,32E-06
Po-210	7,3E-02	1,1E-07	7,44E-02	1,02E-07	6,48E-10	4,56E-08	7,3E-02	4,08E-08	6,9E-10	4,2E-08	7,44E-02	3,60E-08	5,76E-10	3,84E-08
Pu-238	7,6E-02	4,1E-06	7,68E-02	3,55E-06	5,28E-08	5,28E-08	7,6E-02	1,56E-06	1,7E-08	1,6E-06	7,68E-02	4,32E-07	3,84E-08	1,13E-06
Pu-239	7,1E-02	2,0E-06	7,20E-02	1,95E-06	2,40E-08	2,14E-07	7,1E-02	7,92E-07	1,1E-08	8,0E-07	7,20E-02	3,60E-07	1,85E-08	6,24E-07
Pu-240	7,2E-02	3,9E-06	7,20E-02	3,42E-06	5,04E-08	5,52E-08	7,2E-02	1,49E-06	1,7E-08	1,5E-06	7,20E-02	4,32E-07	3,84E-08	1,08E-06
Pu-241	7,4E-05	1,3E-08	7,44E-05	2,00E-08	3,84E-10	1,37E-08	7,4E-05	6,48E-09	1,2E-10	6,4E-09	7,44E-05	5,04E-09	3,36E-10	1,75E-08
Ra-226	3,4E-01	2,2E-02	3,36E-01	2,18E-02	1,27E-04	9,60E-03	3,4E-01	8,40E-03	1,3E-04	8,3E-03	3,60E-01	7,20E-03	1,15E-04	7,68E-03
Ra-228	6,4E-03	1,2E-02	8,49E-03	1,18E-02	4,32E-03	1,08E-02	5,9E-03	4,56E-03	7,6E-05	4,6E-03	8,64E-03	4,08E-03	1,15E-04	4,56E-03

Продолжение таблицы П4.2

Радио нукли д	Дождевой червь		Уж обыкновенный				Медоносная пчела				Полевой жаворонок			
	DC (мкг/г/су т)/(Бк/кг)	DCF <sup>in soil</sup> (мкг/г/су т)/(Бк/кг)	DC (мкг/г/су т)/(Бк/кг)	DCF <sup>water-f</sup> (мкг/г/су т)/(Бк/кг)	DCF <sup>soil-pl</sup> (мкг/г/су т)/(Бк/м2)	DCF <sup>em soil</sup> (мкг/г/су т)/(Бк/кг)	DC (мкг/г/су т)/(Бк/кг)	DCF <sup>air</sup> (мкг/г/су т)/(Бк/м3)	DCF <sup>soil-pl</sup> (мкг/г/су т)/(Бк/м2)	DCF <sup>em soil</sup> (мкг/г/су т)/(Бк/кг)	DC (мкг/г/су т)/(Бк/кг)	DCF <sup>air</sup> (мкг/г/су т)/(Бк/м3)	DCF <sup>soil-pl</sup> (мкг/г/су т)/(Бк/м2)	DCF <sup>em soil</sup> (мкг/г/су т)/(Бк/кг)
Ru-103	1,7E-03	5,9E-03	2,48E-03	5,59E-03	1,7E-05	2,18E-03	1,6E-03	2,33E-03	2,3E-03	2,64E-03	1,99E-03	2,64E-03	2,30E-03	
Ru-106	1,3E-02	2,6E-03	1,75E-04	3,60E-03	1,58E-05	9,60E-04	9,2E-03	1,01E-03	1,0E-03	1,90E-02	8,64E-04	1,44E-05	9,36E-04	
Sr-90	6,7E-04	4,99E-07	6,75E-04	4,99E-07			6,7E-04			6,72E-04				
Sr-89	4,9E-03	2,3E-02	8,23E-03	2,23E-02		8,16E-03	4,2E-03	8,64E-03	8,6E-03	8,40E-03	7,44E-03		8,40E-03	
Sb-125	1,5E-03	5,3E-03	2,29E-03	5,06E-03		1,94E-03	1,4E-03	2,06E-03	2,1E-03	2,35E-03	1,78E-03		2,04E-03	
Se-75	3,6E-04	4,1E-03	1,05E-03	4,61E-03		1,66E-03	3,1E-04	1,78E-03	1,8E-03	1,10E-03	1,51E-03		1,75E-03	
Se-79	7,7E-04	6,14E-07	7,72E-04	6,14E-07			7,7E-04			7,68E-04				
Sr-89	6,9E-03	1,1E-06	7,68E-03	1,83E-04	6,48E-09	3,84E-07	6,1E-03	4,08E-07	4,1E-07	7,92E-03	3,60E-07	5,76E-09	3,84E-07	
Sr-90	1,3E-02	3,7E-09	1,46E-02	5,10E-04	4,08E-11	2,38E-09	1,0E-02	3,84E-10	3,9E-10	1,51E-02	1,54E-10	2,88E-11	9,84E-10	
Tc-99	1,4E-03		1,39E-03	3,08E-06			1,4E-03			1,39E-03				
Te-129m	7,5E-03	8,6E-04	8,56E-03	1,01E-03		3,12E-04	6,8E-03	3,36E-04	3,3E-04	8,64E-03	2,88E-04		3,36E-04	
Th-132	8,1E-03	3,2E-02	1,31E-02	3,11E-02		1,18E-02	7,2E-03	1,25E-02	1,2E-02	1,34E-02	1,08E-02		1,22E-02	
Th-227	8,2E-02	1,1E-03	8,16E-02	1,23E-03	7,92E-06	4,56E-04	8,2E-02	4,80E-04	4,7E-04	8,16E-02	4,08E-04	7,44E-06	4,32E-04	
Th-228	4,6E-01	1,9E-02	4,56E-01	1,96E-02	1,06E-04	6,72E-03	4,5E-01	6,96E-03	7,0E-03	4,56E-01	6,24E-03	9,60E-05	6,48E-03	
Th-230	6,5E-02	5,0E-06	6,48E-02	5,96E-06	4,32E-08	2,88E-06	6,5E-02	1,73E-06	1,7E-06	6,48E-02	1,18E-06	3,60E-08	1,68E-06	
Th-231	2,3E-03	1,1E-04	2,40E-03	1,64E-04	1,30E-06	5,52E-05	2,3E-03	5,04E-05	5,0E-05	2,40E-03	3,60E-05	1,15E-06	4,32E-05	
Th-232	5,5E-02	3,5E-06	5,52E-02	3,59E-06	3,12E-08	2,14E-06	5,5E-02	1,06E-06	1,0E-06	5,52E-02	5,76E-07	2,35E-08	1,03E-06	
Th-234	9,8E-03	2,7E-04	1,15E-02	6,96E-04	1,90E-06	1,06E-04	8,2E-03	1,10E-04	1,1E-04	1,20E-02	9,60E-05	1,75E-06	1,03E-04	
U-234	6,6E-02	4,2E-06	6,72E-02	3,90E-06	4,56E-08	2,64E-06	6,6E-02	1,70E-06	1,8E-08	6,72E-02	6,00E-07	3,36E-08	1,20E-06	
U-235	6,4E-02	1,6E-03	6,48E-02	1,97E-03	1,27E-05	6,72E-04	6,4E-02	7,20E-04	7,1E-04	6,48E-02	6,00E-07	1,15E-05	6,48E-04	
U-238	5,8E-02	3,0E-06	5,8E-02	2,44E-06	3,12E-08	1,94E-06	5,8E-02	1,20E-06	1,2E-06	5,76E-02	2,88E-07	2,33E-08	7,68E-07	
Zn-65	2,6E-04	7,3E-03	1,12E-03	7,06E-03		2,65E-03	1,9E-04	2,80E-03	2,8E-03	1,18E-03	2,59E-03		2,59E-03	
Zr-95	1,8E-03	9,5E-03	2,99E-03	8,88E-03		3,36E-03	1,7E-03	3,60E-03	3,6E-03	3,12E-03	3,12E-03		3,60E-03	

Продолжение таблицы П4.2

Радионуклид	Чайка обжаренная		Полевая мышь				Заяц-русак				Ласка	
	DC (мкг/сут)/ (Бк/кг)	$DCF^{water\_veg}$ <sub>h</sub> (мкг/сут)/ (Бк/кг)	DC (мкг/сут)/ (Бк/кг)	$DCF^{soil\_pl}$ (мкг/сут)/ (Бк/м2)	$DCF^{soil}$ (мкг/сут)/ (Бк/кг)	$DCF^{soil\_pl}$ (мкг/сут)/ (Бк/м2)	DC (мкг/сут)/ (Бк/кг)	$DCF^{soil\_pl}$ (мкг/сут)/ (Бк/м2)	$DCF^{soil}$ (мкг/сут)/ (Бк/кг)	DC (мкг/сут)/ (Бк/кг)	$DCF^{soil\_pl}$ (мкг/сут)/ (Бк/м2)	$DCF^{soil}$ (мкг/сут)/ (Бк/кг)
Ag-110m			4,32E-03		1,30E-02		7,68E-02		1,30E-02		3,36E-02	
Am-241	7,68E-02	2,04E-04	7,68E-02	2,0E-06	7,0E-05	4,1E-05	7,68E-02	1,78E-06	6,00E-05	6,96E-04	1,99E-06	6,96E-05
Ba-140			1,57E-02		1,30E-02	3,32E-02						
C-14	6,96E-04	1,68E-07	6,96E-04									
Ca-45			1,07E-03		3,33E-11	5,24E-11						
Cd-109			1,34E-03		3,36E-05	7,20E-05						
Ce-141			2,40E-03		2,88E-04	6,24E-04						
Ce-144	1,78E-02	1,03E-03	1,68E-02		2,11E-04	5,28E-04						
CF-252			8,21E-02		7,15E-07	2,44E-06						
Cl-36	3,84E-03	1,42E-05	3,6E-03	1,2E-08	7,4E-07	7,4E-07	3,84E-03	1,10E-08	6,48E-07	4,80E-07	1,25E-08	7,44E-07
Cm-242	8,40E-02	5,04E-06	8,4E-02	6,7E-08	2,6E-06	4,3E-08	8,40E-02	6,00E-08	2,38E-06	2,40E-08	6,72E-08	2,64E-06
Cm-243	8,16E-02	1,22E-03	8,16E-02	1,0E-05	5,3E-04	4,3E-04	8,16E-02	8,88E-06	4,80E-04	2,64E-04	9,84E-06	5,28E-04
Cm-244	7,92E-02	4,56E-06	7,92E-02	6,0E-08	2,4E-06	1,4E-08	7,92E-02	5,52E-08	2,18E-06	6,48E-09	6,00E-08	2,40E-06
Co-57			4,80E-04		4,56E-04	9,12E-04						
Co-58			1,68E-03		4,56E-03	1,18E-02						
Co-60	8,64E-03	2,64E-02	4,08E-03		1,15E-02	2,88E-02						
Cr-51			1,10E-04		1,48E-04	3,46E-04						
Cs-134	7,44E-03	1,63E-02	3,12E-03	1,25E-04	7,68E-03	7,92E-03	5,76E-03	1,10E-04	6,72E-03	5,28E-03	1,25E-04	7,44E-03
Cs-135	9,36E-04	3,60E-07	9,36E-04				9,36E-04					
Cs-136			4,56E-03		1,01E-02	2,64E-02						
Cs-137	5,28E-03	6,00E-03	3,84E-03	4,56E-05	2,88E-03	2,88E-03	4,80E-03	4,08E-05	2,40E-03	1,90E-03	4,56E-05	2,64E-03
Eu-152			2,88E-03		5,28E-03	1,32E-02						
Eu-154			5,52E-03		5,76E-03	1,44E-02						
H-3	7,92E-05	7,44E-10	7,92E-05				7,92E-05					
I-125	6,24E-04	2,18E-04	5,04E-04		4,56E-05	1,13E-04						
I-129	1,10E-03	1,39E-04	9,84E-04	2,3E-06	4,1E-05	1,3E-05	1,08E-03	2,02E-06	3,60E-05	1,75E-06	2,23E-06	4,08E-05
I-131	4,08E-03	3,84E-03	2,88E-03	3,1E-05	1,8E-03	1,8E-03	3,60E-03	2,88E-05	1,61E-03	1,13E-03	2,88E-03	1,82E-03
I-132			9,36E-03		1,08E-02	2,64E-02						
I-133			6,24E-03		2,88E-03	7,20E-03						

Продолжение таблицы П4.2

Радионуклид	Чайка обжаренная		Полевая мышь		Заяц-русак				Ласка		
	DC (мкг/г/сут)/ (Бк/кг)	$DCF^{water\_veg}_h$ (мкг/г/сут)/ (Бк/кг)	DC (мкг/г/сут)/ (Бк/кг)	$DCF^{m\_soil}$ (мкг/г/сут)/ (Бк/кг)	DC (мкг/г/сут)/ (Бк/кг)	$DCF^{soil\_pl}$ (мкг/г/сут)/ (Бк/м2)	$DCF^{m\_soil}$ (мкг/г/сут)/ (Бк/кг)	DC (мкг/г/сут)/ (Бк/кг)	$DCF^{soil\_pl}$ (мкг/г/сут)/ (Бк/м2)	DC (мкг/г/сут)/ (Бк/кг)	$DCF^{m\_soil}$ (мкг/г/сут)/ (Бк/кг)
Ir-192			4,05E-03	3,85E-03	9,20E-03						
K-40	7,68E-03	1,80E-03	6,96E-03	7,2E-04	8,2E-04	7,44E-03	1,03E-05	6,48E-04	6,24E-04	6,96E-03	1,13E-05
La-140			9,68E-03	1,06E-02	2,70E-02						
Mn-54			1,08E-03	4,08E-03	1,01E-02						
Nb-94	7,44E-03	1,68E-02	3,36E-03	7,7E-03	8,2E-03	5,76E-03	1,13E-04	6,72E-03	5,52E-03	3,60E-03	1,25E-04
Nb-95	3,12E-03	8,16E-03	1,54E-03	3,60E-03	9,36E-03						
Ni-59	9,84E-05	3,12E-06	8,88E-05	3,4E-06	1,97E-06	9,60E-05	2,64E-06			9,12E-05	3,12E-06
Ni-65											
Np-237	6,96E-02	2,21E-03	6,72E-02	9,4E-05	5,5E-05	6,72E-02	1,94E-06	8,16E-05	3,36E-05	6,72E-02	2,16E-06
P-32	9,60E-03	1,25E-04	9,36E-03								
P-33			1,06E-03								
Pa-231			6,99E-02	1,71E-04	3,98E-04						
Pb-210	5,76E-03	4,80E-05	5,76E-03	8,2E-06	2,6E-06	6,00E-03	1,51E-07	7,20E-06	1,37E-06	5,76E-03	1,68E-07
Po-210	7,44E-02	9,12E-08	7,44E-02	4,1E-08	4,3E-08	7,44E-02	6,00E-10	3,60E-08	3,12E-08	7,44E-02	6,72E-10
Pu-238	7,68E-02	4,56E-06	7,68E-02	2,6E-06	4,8E-08	7,68E-02	5,04E-08	2,35E-06	2,64E-08	7,68E-02	5,52E-08
Pu-239	7,20E-02	1,66E-06	7,20E-02	1,2E-06	2,1E-07	7,20E-02	2,23E-08	1,08E-06	1,30E-07	7,20E-02	2,40E-08
Pu-240	7,20E-02	4,32E-06	7,20E-02	2,6E-08	5,0E-08	7,20E-02	4,80E-08	2,56E-06	2,88E-08	7,20E-02	5,28E-08
Pu-241	7,44E-05	4,80E-08	7,44E-05	4,1E-10	1,4E-08	7,44E-05	3,60E-10	1,73E-08	8,64E-09	7,44E-05	3,84E-10
Ra-226	4,32E-01	1,87E-02	3,36E-01	1,3E-04	8,9E-03	3,60E-01	1,20E-04	7,44E-03	6,48E-03	3,36E-01	1,32E-04
Ra-228			7,92E-03	4,56E-03	1,13E-02						
Ru-103			2,18E-03	2,26E-03	5,52E-03						
Ru-106	1,97E-02	2,88E-03	1,70E-02	1,0E-03	1,0E-03	1,92E-02	1,46E-05	8,88E-04	6,96E-04	1,73E-02	1,66E-05
S-35			6,72E-04								
Sb-124			7,20E-03	8,40E-03	2,14E-02						
Sb-125			1,99E-03	1,99E-03	5,04E-03						
Se-75			7,68E-04	1,73E-03	3,84E-03						
Se-79			7,68E-04								
Si-89	7,92E-03	8,16E-05	7,68E-03	4,1E-07	4,3E-07	7,92E-03	6,00E-09	3,60E-07	3,12E-07	7,68E-03	6,72E-09
Si-90	1,54E-02	2,64E-04	1,44E-02	2,4E-09	2,88E-09	1,46E-02	3,84E-11	2,16E-09		1,46E-02	4,08E-11



Продолжение таблицы П4.2

Радионуклид	Чайка обыкновенная		Полевая мышь		Зяц-русак		Ласка	
	DC (мкг/сут)/(Бк/кг)	$DCF^{water\_veg\_h}$ (мкг/сут)/(Бк/кг)	DC (мкг/сут)/(Бк/кг)	$DCF^{m\_soil}$ (мкг/сут)/(Бк/кг)	DC (мкг/сут)/(Бк/кг)	$DCF^{soil\_pl}$ (мкг/сут)/(Бк/м2)	DC (мкг/сут)/(Бк/кг)	$DCF^{soil\_pl}$ (мкг/сут)/(Бк/м2)
Tc-99	1,39E-03	1,01E-06	1,39E-03	7,92E-04	1,39E-03	1,39E-03	1,39E-03	1,39E-03
Tc-129m			8,40E-03	3,12E-04				
Tc-132			1,15E-02	1,20E-02				
Th-227	4,80E-01	3,84E-03	8,4E-06	4,8E-04	8,16E-02	7,44E-06	8,16E-02	8,40E-06
Th-228	4,56E-01	1,73E-02	1,1E-04	7,0E-03	4,56E-01	1,01E-04	4,56E-01	1,10E-04
Th-230	6,48E-02	5,52E-06	4,6E-08	9,1E-07	6,48E-02	4,08E-08	6,48E-02	4,56E-08
Th-231	2,40E-03	1,37E-04	1,4E-06	5,8E-05	2,40E-03	1,20E-06	2,40E-03	1,34E-06
Th-232	5,52E-02	3,84E-06	3,1E-08	2,2E-06	5,52E-02	2,88E-08	5,52E-02	3,12E-08
Th-234	1,20E-02	4,32E-04	2,0E-06	1,1E-04	1,15E-02	1,78E-06	1,15E-02	1,97E-06
U-234	6,48E-02	4,56E-06	4,6E-08	2,6E-06	6,72E-02	4,08E-08	6,72E-02	4,56E-08
U-235	6,48E-02	1,61E-03	1,3E-05	7,2E-04	6,48E-02	1,18E-05	6,48E-02	1,32E-05
U-238	1,37E-01	4,56E-04	3,4E-08	2,0E-06	5,8E-02	2,88E-08	5,8E-02	3,36E-08
Zn-65			7,89E-04	2,72E-03				
Zr-95	4,08E-03	7,92E-03	2,64E-03	3,60E-03	8,88E-03	8,88E-03	2,88E-08	1,99E-06

Продолжение таблицы П4.2

Радионуклид	Обыкновенная листва		Косуля европейская		Олень благородный	
	DC (мкг/сут)/(Бк/кг)	$DCF^{soil\_pl}$ (мкг/сут)/(Бк/м2)	DC (мкг/сут)/(Бк/кг)	$DCF^{soil\_pl}$ (мкг/сут)/(Бк/м2)	DC (мкг/сут)/(Бк/кг)	$DCF^{soil\_pl}$ (мкг/сут)/(Бк/м2)
Ag-110m						
Am-241	7,68E-02	1,61E-06	7,68E-02	1,08E-06	2,3E-02	1,1E-04
Ba-140					7,7E-02	6,6E-07
C-14	6,96E-04		6,96E-04		3,5E-02	1,1E-04
Cs-45					6,8E-04	
Cd-109					1,1E-03	4,0E-15
Ce-141					1,5E-03	4,5E-07
					3,1E-03	2,4E-06
						6,7E-03
						2,2E-05
						7,0E-03
						6,1E-12
						1,2E-05
						1,3E-04

Продолжение таблицы П4.2

Радионукл ид	Обыкновенная листва				Косуля европейская				Олень благородный			
	DC (мкг/сут)/(Бк/ кг)	DCF <sup>soil_pl</sup> (мкг/сут)/(Бк/ м2)	DCF <sup>m_soil</sup> (мкг/сут)/(Бк/ кг)	DCF <sup>m_soil</sup> (мкг/сут)/(Бк/ кг)	DC (мкг/сут)/(Бк/ кг)	DCF <sup>soil_pl</sup> (мкг/сут)/(Бк/ м2)	DCF <sup>m_soil</sup> (мкг/сут)/(Бк/ кг)	DCF <sup>m_soil</sup> (мкг/сут)/(Бк/ кг)	DC (мкг/сут)/(Бк/ кг)	DCF <sup>soil_pl</sup> (мкг/сут)/(Бк/ м2)	DCF <sup>m_soil</sup> (мкг/сут)/(Бк/ кг)	DCF <sup>m_soil</sup> (мкг/сут)/(Бк/ кг)
Ce-144									1,8E-02	1,9E-06	1,1E-04	1,1E-04
Cf-252								8,4E-03	8,2E-09	8,2E-09	2,3E-07	2,3E-07
Cl-36	3,84E-03	1,03E-08	6,24E-07	3,36E-07	3,84E-03	7,92E-09	4,80E-07	3,8E-03	6,0E-09	6,0E-09	3,6E-07	3,6E-07
Cm-242	8,40E-02	5,28E-08	2,11E-06	1,56E-08	8,40E-02	3,36E-08	1,18E-06	8,5E-02	8,3E-09	8,3E-09	3,0E-07	3,0E-07
Cm-243	8,16E-02	8,16E-06	4,32E-04	1,75E-04	8,40E-02	6,00E-06	3,36E-04	8,3E-02	4,3E-06	4,3E-06	2,4E-04	2,4E-04
Cm-244	7,92E-02	4,80E-08	1,94E-06	3,84E-09	7,92E-02	3,12E-08	1,08E-06	8,0E-02	7,4E-09	7,4E-09	2,7E-07	2,7E-07
Co-57								1,5E-03	3,7E-06	3,7E-06	2,0E-04	2,0E-04
Co-58								8,5E-03	3,8E-05	3,8E-05	2,4E-03	2,4E-03
Co-60								2,0E-02	9,7E-05	9,7E-05	6,2E-03	6,2E-03
Cr-51								3,5E-04	1,2E-06	1,2E-06	7,2E-05	7,2E-05
Cs-134	7,20E-03	1,03E-04	6,24E-03	3,60E-03	9,36E-03	8,16E-05	5,04E-03	1,50E-02	6,10E-05	6,10E-05	3,80E-03	3,80E-03
Cs-135	9,36E-04				9,36E-04			9,30E-04				
Cs-136								2,00E-02	8,40E-05	8,40E-05	5,20E-03	5,20E-03
Cs-137	5,28E-03	3,84E-05	2,28E-03	1,27E-03	6,00E-03	2,88E-05	1,82E-03	8,20E-03	2,20E-05	2,20E-05	1,40E-03	1,40E-03
Eu-152								1,1E-02	4,4E-05	4,4E-05	2,7E-03	2,7E-03
Eu-154								1,4E-02	4,8E-05	4,8E-05	3,0E-03	3,0E-03
H-3	7,92E-05				7,92E-05			7,9E-05				
I-125								8,0E-04	9,5E-07	9,5E-07	1,6E-05	1,6E-05
I-129	1,10E-03	1,82E-06	3,12E-05	8,40E-07	1,15E-03	1,20E-06	2,09E-05	1,2E-03	5,9E-07	5,9E-07	9,6E-06	9,6E-06
I-131	3,84E-03	2,64E-05	1,51E-03	7,44E-04	4,56E-03	1,99E-05	1,20E-03	6,0E-03	1,5E-05	1,5E-05	8,9E-04	8,9E-04
I-132								2,5E-02	8,9E-05	8,9E-05	5,5E-03	5,5E-03
I-133								1,1E-02	2,4E-05	2,4E-05	1,5E-03	1,5E-03
Ir-192								1,0E-02	3,2E-05	3,2E-05	1,9E-03	1,9E-03
K-40	7,68E-03	9,84E-06	6,24E-04	4,56E-04	7,92E-03	7,68E-06	5,04E-04	8,4E-03	6,1E-06	6,1E-06	3,9E-04	3,9E-04
La-140								2,5E-02	9,0E-05	9,0E-05	5,7E-03	5,7E-03
Mn-54								6,9E-03	3,2E-05	3,2E-05	2,0E-03	2,0E-03
Nb-94	7,20E-03	1,06E-04	6,48E-03	3,84E-03	9,60E-03	8,16E-05	5,04E-03	1,5E-02	6,1E-05	6,1E-05	3,8E-03	3,8E-03
Nb-95								6,9E-03	3,0E-05	3,0E-05	1,9E-03	1,9E-03
Ni-59	9,60E-05		2,06E-06		9,60E-05		8,64E-08	9,6E-05				



Продолжение таблицы П4.2

Радионукл ид	Обыкновенная листва				Косуля европейская				Олень благородный			
	DC (мкгГр/сут)/(Бк/ кг)	DCF <sup>soil_pl</sup> (мкгГр/сут)/(Бк/ м2)	DCF <sup>m_soil</sup> (мкгГр/сут)/(Бк/ кг)	DCF <sup>m_soil</sup> (мкгГр/сут)/(Бк/ кг)	DC (мкгГр/сут)/(Бк/ кг)	DCF <sup>soil_pl</sup> (мкгГр/сут)/(Бк/ м2)	DCF <sup>m_soil</sup> (мкгГр/сут)/(Бк/ кг)	DCF <sup>m_soil</sup> (мкгГр/сут)/(Бк/ кг)	DC (мкгГр/сут)/(Бк/ кг)	DCF <sup>soil_pl</sup> (мкгГр/сут)/(Бк/ м2)	DCF <sup>m_soil</sup> (мкгГр/сут)/(Бк/ кг)	DCF <sup>m_soil</sup> (мкгГр/сут)/(Бк/ кг)
Th-232	5,52E-02	2,64E-08	1,73E-06	1,54E-07	5,52E-02	1,63E-08	9,60E-07	5,6E-02	6,6E-09	6,6E-09	3,2E-07	
Th-234	1,15E-02	1,66E-06	9,12E-05	5,04E-05	1,15E-02	1,25E-06	6,96E-05	1,2E-02	9,1E-07	9,1E-07	5,3E-05	
U-234	6,72E-02	3,84E-08	2,11E-06	1,06E-07	6,72E-02	2,40E-08	1,15E-06	6,6E-02	6,6E-09	6,6E-09	4,1E-07	
U-235	6,48E-02	1,08E-05	5,76E-04	2,26E-04	6,48E-02	7,68E-06	4,32E-04	6,6E-02	5,6E-06	5,6E-06	3,1E-04	
U-238	5,8E-02	2,64E-08	1,56E-06	1,78E-08	5,8E-02	1,70E-08	8,40E-07	5,8E-02	3,5E-09	3,5E-09	2,5E-07	
Zn-65					4,7E-03			4,7E-03			1,4E-03	
Zr-95					7,8E-03			7,8E-03			1,8E-03	

Таблица П4.3 - Факторы дозовой конверсии для внутреннего и внешнего облучения водной биоты [FASSET, 2003; ICRP 2008; ERICA]

Радионуклид	Речной омут		Семга		Щука		Элодея канадская		Морская камбала		Камчатский краб		
	DC (мкГр/сут)/ (Бк/кг)	$DCF^{water\_fres}_h$ (мкГр/сут)/ (Бк/кг)	DC (мкГр/сут)/ (Бк/кг)	$DCF^{water\_fres}_h$ (мкГр/сут)/ (Бк/кг)	DC (мкГр/сут)/ (Бк/кг)	$DCF^{water\_fres}_h$ (мкГр/сут)/ (Бк/кг)	DC (мкГр/сут)/ (Бк/кг)	$DCF^{water\_fres}_h$ (мкГр/сут)/ (Бк/кг)	DC (мкГр/сут)/ (Бк/кг)	$DCF^{water\_sea}$ (мкГр/сут)/ (Бк/кг)	DC (мкГр/сут)/ (Бк/кг)	$DCF^{water\_sea}$ (мкГр/сут)/ (Бк/кг)	$DCF^{ph\_soil}$ (мкГр/сут)/ (Бк/кг)
Ag-110m			6,00E-03	3,36E-02	9,84E-04	3,84E-02	4,3E-03	3,5E-02	5,6E-03	3,4E-02	1,34E-02	3,60E-02	
Am-241	7,68E-02	3,36E-04	7,68E-02	2,64E-04	7,68E-02	5,04E-04	7,7E-02	2,9E-04	7,7E-02	2,7E-04	6,24E-05	1,49E-04	
Ba-140			1,74E-02	3,50E-02	7,49E-03	4,48E-02	1,6E-02	3,7E-02	1,7E-02	3,5E-02	1,34E-02	3,53E-02	
C-14	6,96E-04	6,48E-07	6,96E-04	4,08E-07	5,76E-04	1,10E-04	6,8E-04	4,3E-07	6,8E-04	5,1E-07			
Ca-45			1,07E-03	1,47E-06	7,72E-04	9,76E-05	1,1E-03	1,6E-06	1,1E-03	1,8E-06	3,62E-11	6,65E-11	
Cd-109			1,39E-03	1,27E-04	1,13E-03	3,84E-04	1,3E-03	1,7E-04	1,4E-03	1,4E-04	3,36E-05	8,40E-05	
Ce-144			2,64E-04	8,88E-04	1,90E-03	1,54E-03	2,5E-03	9,5E-04	2,5E-03	9,1E-04	2,88E-04	6,48E-04	
Ce-141	1,63E-02	2,40E-03	1,73E-02	1,49E-03	1,34E-03	1,73E-02	1,6E-02	2,6E-03	1,7E-02	1,6E-03	2,16E-04	5,52E-04	
CF-252			8,21E-02	3,03E-06	8,21E-02	1,57E-05	8,4E-02	4,4E-06	8,4E-02	3,5E-06	7,43E-07	3,03E-06	
Cl-36	3,84E-03	5,04E-05	3,84E-03	3,12E-05	9,12E-04	2,88E-03	3,7E-03	4,3E-05	3,7E-03	3,7E-05	7,44E-07	1,94E-06	
Cm-242	8,40E-02	1,03E-05	8,40E-02	3,84E-06	8,40E-02	3,36E-05	8,5E-02	5,5E-06	8,5E-02	4,4E-06	1,13E-06	4,32E-06	
Cm-243	8,16E-02	1,63E-03	8,16E-02	1,49E-03	7,92E-02	2,64E-03	8,2E-02	1,6E-03	8,2E-02	1,5E-03	5,28E-04	1,20E-03	
Cm-244	7,92E-02	9,60E-06	7,92E-02	3,36E-06	7,92E-02	3,12E-05	8,0E-02	5,0E-06	8,0E-02	4,0E-06	1,03E-06	4,08E-06	
Co-57			5,76E-04	1,42E-03	2,88E-04	1,70E-03	4,9E-04	1,5E-03	5,4E-04	1,5E-03	4,80E-04	9,84E-04	
Co-58			2,28E-03	1,18E-02	4,32E-04	1,34E-02	1,6E-03	1,2E-02	2,1E-03	1,2E-02	4,80E-03	1,25E-02	
Co-60	3,60E-03	3,36E-02	5,52E-03	3,12E-02	8,64E-04	3,60E-02	4,0E-03	3,2E-02	5,0E-03	3,1E-02	1,20E-02	3,12E-02	
Cr-51			1,32E-04	3,73E-04	6,53E-05	4,39E-04	1,1E-04	3,9E-04	1,2E-04	3,8E-04	1,53E-04	3,71E-04	
Cs-134	3,84E-03	2,02E-02	5,04E-03	1,87E-02	7,92E-04	2,30E-02	4,08E-03	1,97E-02	4,80E-03	1,90E-02	7,68E-03	2,02E-02	
Cs-135	9,36E-04	1,42E-06	9,36E-04	9,84E-07	6,96E-04	2,26E-04	9,30E-04	1,00E-06	9,30E-04	1,20E-06			
Cs-136			2,64E-02	2,64E-03	5,76E-03	2,64E-02	4,08E-03	2,70E-02	5,40E-03	2,60E-02	1,06E-02	2,64E-02	
Cs-137	3,84E-03	7,20E-03	4,76E-03	6,72E-03	1,73E-03	1,03E-02	4,08E-03	7,20E-03	4,40E-03	6,90E-03	2,88E-03	7,44E-03	
Eu-152			3,60E-03	1,39E-02	1,25E-03	1,63E-02	3,0E-03	1,5E-02	3,5E-03	1,4E-02	5,52E-03	1,39E-02	
Eu-154			6,24E-03	1,51E-02	2,88E-03	1,85E-02	5,4E-03	1,6E-02	5,9E-03	1,5E-02	6,00E-03	1,54E-02	
H-3	7,92E-05	2,88E-09	7,92E-05	8,88E-12	7,92E-05	4,56E-07	7,9E-05	1,9E-11	7,9E-05	1,8E-13			
I-125	4,56E-04	3,84E-04	6,00E-04	2,64E-04	2,64E-04	5,76E-04	5,1E-04	3,4E-04	5,7E-04	2,8E-04	4,80E-05	1,34E-04	
I-129	9,84E-04	2,40E-04	1,06E-03	1,75E-04	7,68E-04	4,56E-04	1,0E-03	2,2E-04	1,0E-03	1,9E-04	2,88E-05	8,64E-05	
I-131	3,12E-03	4,80E-03	3,36E-03	4,56E-03	1,01E-03	6,96E-03	3,1E-03	4,8E-03	3,3E-03	4,6E-03	1,87E-03	4,56E-03	
I-132			1,08E-02	2,64E-02	3,60E-02	3,36E-02	9,2E-03	2,9E-02	1,0E-02	2,6E-02	1,10E-02	2,88E-02	
I-133			6,72E-03	7,44E-03	3,36E-03	1,08E-02	6,3E-03	7,8E-03	6,6E-03	7,5E-03	2,88E-03	7,68E-03	

Продолжение таблицы П4.3

Радионуклид	Речной окупь		Семга		Щука		Элодея канадская		Морская камбала		Камчатский краб		
	DC (мкг/г/сут)/ (Бк/кг)	DCF <sup>water_fresh</sup> <sub>h</sub> (мкг/г/сут)/ (Бк/кг)	DC (мкг/г/сут)/ (Бк/кг)	DCF <sup>water_fresh</sup> <sub>h</sub> (мкг/г/сут)/ (Бк/кг)	DC (мкг/г/сут)/ (Бк/кг)	DCF <sup>water_fresh</sup> <sub>h</sub> (мкг/г/сут)/ (Бк/кг)	DC (мкг/г/сут)/ (Бк/кг)	DCF <sup>water_fresh</sup> <sub>h</sub> (мкг/г/сут)/ (Бк/кг)	DC (мкг/г/сут)/ (Бк/кг)	DCF <sup>water_sea</sup> (мкг/г/сут)/ (Бк/кг)	DC (мкг/г/сут)/ (Бк/кг)	DCF <sup>water_sea</sup> (мкг/г/сут)/ (Бк/кг)	DCF <sup>ph_soil</sup> (мкг/г/сут)/ (Бк/кг)
Ir-192			4,62E-03	9,71E-03	2,22E-03	1,21E-02	4,1E-03	1,0E-02	4,4E-03	9,9E-03	3,98E-03	9,88E-03	
K-40	7,20E-03	2,30E-03	1,10E-02	2,85E-02	6,24E-04	8,88E-03	7,1E-03	2,3E-03	7,3E-03	2,1E-03	2,9E-02	2,87E-02	
La-140			1,03E-02	1,01E-02	3,93E-04	3,55E-02	9,6E-03	3,0E-02	1,1E-02	2,9E-02	1,08E-02	1,08E-02	
Mn-54	3,84E-03	2,04E-02	5,28E-03	1,90E-02	9,84E-04	1,15E-02	1,0E-03	1,1E-02	1,4E-03	1,0E-02	4,08E-03	1,08E-02	
Nb-94	1,34E-03	9,84E-03	2,02E-03	9,12E-03	2,02E-03	2,30E-02	4,2E-03	2,0E-02	4,9E-03	1,9E-02	7,68E-03	2,04E-02	
Nb-95	9,36E-05	2,64E-06	9,60E-05	5,52E-07	5,28E-04	1,08E-02	1,5E-03	9,7E-03	1,9E-03	9,3E-03	3,84E-03	9,84E-03	
Ni-59			6,72E-05	2,88E-05	6,72E-05	2,88E-05	9,6E-05	6,0E-07	9,6E-05	7,0E-07	2,64E-38	2,40E-06	
Ni-65			6,72E-02	2,88E-04	6,72E-02	4,56E-03	6,7E-02	3,2E-04	6,7E-02	3,0E-04	8,64E-05	1,85E-04	
Np-237	9,12E-03	4,80E-04	9,36E-03	2,40E-04	6,48E-04	8,88E-03	9,1E-03	5,2E-04	9,3E-03	2,7E-04			
P-32			1,06E-03	1,42E-06	9,60E-04	9,36E-05	1,1E-03	1,5E-06	1,1E-03	1,7E-06			
Pu-231	5,76E-03	1,46E-04	6,99E-02	4,46E-04	6,97E-02	6,62E-04	7,0E-02	4,8E-04	7,0E-02	4,6E-04	1,78E-04	4,31E-04	
Pb-210	7,44E-02	1,10E-07	6,00E-03	9,12E-05	1,32E-03	4,56E-03	5,8E-03	1,5E-04	5,9E-03	1,1E-04	6,96E-06	1,46E-05	
Po-210	7,68E-02	9,84E-06	7,44E-02	1,03E-07	7,44E-02	1,18E-07	7,3E-02	1,1E-07	7,3E-02	1,0E-07	4,08E-08	1,10E-07	
Pu-238	7,20E-02	4,08E-06	7,20E-02	3,36E-06	7,68E-02	3,36E-05	7,6E-02	4,8E-06	7,6E-02	3,9E-06	1,56E-06	4,08E-06	
Pu-239	7,20E-02	9,36E-06	7,20E-02	1,87E-06	7,20E-02	1,54E-05	7,1E-02	2,5E-06	7,1E-02	2,1E-06	8,16E-07	2,06E-06	
Pu-240	7,44E-05	6,96E-08	7,44E-05	1,97E-08	7,44E-05	4,56E-07	7,4E-05	2,2E-08	7,4E-05	2,1E-08	6,48E-09	1,34E-08	
Pu-241	4,32E-01	2,30E-02	3,60E-01	2,18E-02	4,08E-01	3,84E-02	3,5E-01	2,3E-02	3,5E-01	2,2E-02	8,40E-03	2,18E-02	
Ra-226			1,22E-02	1,18E-02	4,32E-03	1,58E-02	7,8E-03	1,2E-02	8,3E-03	1,2E-02	4,56E-03	1,20E-02	
Ra-228			5,76E-03	5,52E-03	2,40E-03	6,72E-03	2,2E-03	5,9E-03	2,4E-03	5,7E-03	2,33E-03	6,00E-03	
Ru-103	1,73E-02	5,28E-03	1,90E-02	3,60E-03	5,76E-04	2,18E-02	1,7E-02	5,2E-03	1,9E-02	3,8E-03	1,01E-03	2,64E-03	
Ru-106			6,00E-07	4,32E-07	6,48E-04	2,88E-05	6,8E-04	4,6E-07	6,8E-04	5,5E-07			
Sb-124			2,30E-02	2,28E-02	8,16E-03	2,88E-02	7,0E-03	2,4E-02	7,9E-03	2,3E-02	8,64E-03	2,28E-02	
Sb-125			5,28E-03	5,04E-03	1,18E-03	6,24E-03	2,0E-03	5,4E-03	2,2E-03	5,1E-03	2,06E-03	5,28E-03	
Se-75			4,80E-03	4,56E-03	1,06E-03	5,52E-03	7,9E-04	4,9E-03	9,7E-04	4,7E-03	1,78E-03	4,08E-03	
Se-79			7,44E-07	5,52E-07	7,44E-04	3,60E-05	7,7E-04	5,7E-07	7,7E-04	6,7E-07			
Si-89	7,68E-03	3,12E-04	7,92E-03	1,70E-04	6,96E-04	7,44E-03	7,7E-03	3,6E-04	7,9E-03	2,0E-04	4,08E-07	1,08E-06	
Si-90	1,46E-02	1,01E-03	1,51E-02	5,04E-04	1,51E-03	1,42E-02	1,4E-02	1,2E-03	1,5E-02	5,6E-04	3,84E-10	3,84E-09	



Продолжение таблицы П4.3

Радионуклид	Речная дрейссена		Моранка		Съедобная лягушка						
	DC (мкг/г/сут)/(Бк/кг)	DCF <sup>water_fresh</sup> (мкг/г/сут)/(Бк/кг)	DC (мкг/г/сут)/(Бк/кг)	DCF <sup>water_sea</sup> (мкг/г/сут)/(Бк/кг)	DCF <sup>soil_pl</sup> (мкг/г/сут)/(Бк/м2)	DCF <sup>soil_soil</sup> (мкг/г/сут)/(Бк/кг)	DC (мкг/г/сут)/(Бк/кг)	DCF <sup>water_fresh</sup> (мкг/г/сут)/(Бк/кг)	DCF <sup>soil_pl</sup> (мкг/г/сут)/(Бк/м2)	DCF <sup>soil_soil</sup> (мкг/г/сут)/(Бк/кг)	DCF <sup>in_soil</sup> (мкг/г/сут)/(Бк/кг)
Ce-144	1,56E-02	3,12E-03	1,7E-02	1,4E-03	3,6E-06	2,0E-04	1,6E-02	3,2E-03	3,9E-06	2,2E-04	5,52E-04
Cf-252	8,21E-02	6,57E-06	8,4E-02	2,98E-06	2,2E-08	6,7E-07	8,4E-02	7,8E-06	2,3E-08	7,3E-07	2,85E-06
Cl-36	3,84E-03	6,24E-05	3,8E-03	3,36E-05	1,2E-08	6,9E-07	3,7E-03	1,0E-04	1,3E-08	7,5E-07	1,90E-06
Cm-242	8,40E-02	1,08E-05	8,5E-02	3,84E-06	2,2E-08	1,0E-06	8,5E-02	1,0E-05	2,4E-08	1,1E-06	4,08E-06
Cm-243	8,16E-02	1,68E-03	8,3E-02	1,49E-03	9,0E-06	4,9E-04	8,2E-02	1,7E-03	9,8E-06	5,3E-04	1,18E-03
Cm-244	7,92E-02	9,84E-06	8,0E-02	3,4E-06	2,0E-08	9,2E-07	8,0E-02	9,5E-06	2,2E-08	1,0E-06	3,84E-06
Co-57	4,08E-04	1,58E-03	5,8E-04	1,4E-03	8,2E-06	4,3E-04	3,8E-04	1,6E-03	8,9E-06	4,7E-04	9,60E-04
Co-58	1,22E-03	1,27E-02	2,4E-03	1,2E-02	7,3E-05	4,4E-03	1,0E-03	1,3E-02	7,9E-05	4,7E-03	1,22E-02
Co-60	2,88E-03	3,36E-02	5,7E-03	3,0E-02	1,8E-04	1,1E-02	2,6E-03	3,3E-02	1,9E-04	1,2E-02	3,12E-02
Cr-51	9,38E-05	4,11E-04	1,4E-04	3,7E-04	2,4E-06	1,4E-04	8,8E-05	4,2E-04	2,6E-06	1,5E-04	3,64E-04
Cs-134	3,36E-03	2,04E-02	5,30E-03	1,90E-02	1,20E-04	7,00E-03	3,10E-03	2,10E-02	1,30E-04	7,60E-03	1,97E-02
Cs-135	9,36E-04	1,63E-06	9,30E-04	1,03E-06			9,30E-04	3,30E-06			
Cs-136	3,60E-03	2,88E-02	6,00E-03	2,60E-02	1,60E-04	9,60E-03	3,10E-03	2,90E-02	1,70E-04	1,00E-02	2,64E-02
Cs-137	3,84E-03	7,44E-03	4,50E-03	6,70E-03	4,30E-05	2,60E-03	3,70E-03	7,60E-03	4,60E-05	2,70E-03	7,20E-03
Eu-152	2,40E-03	1,51E-02	3,8E-03	1,4E-02	8,3E-05	5,0E-03	2,2E-03	1,5E-02	9,0E-05	5,4E-03	1,37E-02
Eu-154	4,80E-03	1,63E-02	6,3E-03	1,5E-02	9,0E-05	5,5E-03	4,6E-03	1,7E-02	9,6E-05	5,9E-03	1,51E-02
H-3	7,92E-05	2,88E-09	7,9E-05	8,5E-12			7,9E-05	5,9E-11			
I-125	4,32E-04	4,08E-04	6,0E-04	2,3E-04	2,5E-06	4,3E-05	4,0E-04	4,5E-04	2,7E-06	4,7E-05	1,27E-04
I-129	9,84E-04	2,64E-04	1,1E-03	1,7E-04	1,5E-06	2,5E-05	9,5E-04	2,8E-04	1,6E-06	2,7E-05	8,16E-05
I-131	2,88E-03	5,04E-03	3,4E-03	4,5E-03	2,9E-05	1,7E-03	2,8E-03	5,1E-03	3,1E-05	1,9E-03	4,56E-03
I-132	8,16E-03	3,12E-02	1,1E-02	2,7E-02	1,7E-04	1,0E-02	7,7E-03	3,1E-02	1,8E-04	1,1E-02	2,88E-02
I-133	6,00E-03	8,16E-03	6,8E-03	7,20E-03	4,6E-05	2,7E-03	5,8E-03	8,3E-03	4,9E-05	3,0E-03	7,68E-03
Ir-192	3,63E-03	1,07E-02	4,7E-03	9,6E-03	6,2E-05	3,6E-03	3,5E-03	1,1E-02	6,7E-05	4,0E-03	9,68E-03
K-40	6,96E-03	2,40E-03	7,3E-03	2,0E-03	1,1E-05	6,8E-04	6,8E-03	2,5E-03	1,2E-05	7,3E-04	2,82E-02
La-140	8,59E-03	3,09E-02	1,1E-02	2,8E-02	1,6E-04	1,0E-02	8,1E-03	3,1E-02	1,7E-04	1,1E-02	1,06E-02
Mn-54	6,96E-04	1,10E-02	1,7E-03	1,0E-02	6,2E-05	3,8E-03	5,5E-04	1,1E-02	6,7E-05	4,1E-03	1,99E-02
Nb-94	3,36E-03	2,06E-02	5,3E-03	1,9E-02	1,2E-04	7,1E-03	3,2E-03	2,1E-02	1,3E-04	7,7E-03	9,84E-03
Nb-95	1,15E-03	1,01E-02	2,1E-03	9,12E-03	5,7E-05	3,5E-03	1,1E-03	1,0E-02	6,2E-05	3,7E-03	2,35E-06
Ni-59	9,36E-05	2,40E-06	9,6E-05	5,9E-07	6,00E-07		9,4E-05	2,0E-06			



Продолжение таблицы П4.3

Радионуклид	Речная дрейссена		Моранка				Съедобная лягушка					
	DC (мкг/р/сут)/( Бк/кг)	DCF <sup>water_fresh</sup> (мкг/р/сут)/( Бк/кг)	DC	DCF <sup>water_fresh</sup> (мкг/р/сут)/( Бк/кг)	DCF <sup>water_sea</sup> (мкг/р/сут)/( Бк/кг)	DCF <sup>soil_pl</sup> (мкг/р/сут)/( Бк/м2)	DCF <sup>soil_soil</sup> (мкг/р/сут)/( Бк/кг)	DC	DCF <sup>water_fresh</sup> (мкг/р/сут)/( Бк/кг)	DCF <sup>soil_pl</sup> (мкг/р/сут)/( Бк/м2)	DCF <sup>soil_soil</sup> (мкг/р/сут)/( Бк/кг)	DCF <sup>in_soil</sup> (мкг/р/сут)/( Бк/кг)
Ni-65												
Np-237	6,96E-02	2,88E-03	6,7E-02	2,9E-04	2,88E-04	1,7E-06	7,9E-05	6,7E-02	3,7E-04	1,9E-06	8,6E-05	1,80E-04
P-32	9,12E-03	6,24E-04	9,4E-03	2,3E-04	2,35E-04			8,9E-03	7,5E-04			
P-33	1,06E-03	3,60E-06	1,1E-03	1,5E-06	1,46E-06			1,1E-03	4,6E-06			
Pa-231	6,98E-02	5,20E-04	7,0E-02	4,4E-04	4,42E-04	2,8E-06	1,6E-04	7,0E-02	5,4E-04	3,1E-06	1,8E-04	4,21E-04
Pb-210	5,76E-03	1,78E-04	5,9E-03	9,3E-05	9,36E-05	1,4E-07	6,2E-06	5,7E-03	2,6E-04	1,5E-07	6,8E-06	1,39E-05
Po-210	7,44E-02	1,13E-07	7,3E-02	1,0E-07	1,01E-07	6,3E-10	3,8E-08	7,3E-02	1,1E-07	6,8E-10	4,1E-08	1,08E-07
Pu-238	7,68E-02	1,01E-05	7,6E-02	3,3E-06	3,36E-06	1,6E-08	1,4E-06	7,6E-02	9,4E-06	1,7E-08	1,5E-06	3,84E-06
Pu-239	7,20E-02	4,32E-06	7,1E-02	1,9E-06	1,85E-06	9,9E-09	7,1E-07	7,1E-02	1,1E-08	7,8E-07	4,2E-06	1,97E-06
Pu-240	7,20E-02	9,60E-06	7,2E-02	3,2E-06	3,12E-06	1,6E-08	1,3E-06	7,2E-02	9,0E-06	1,7E-08	1,4E-06	3,84E-06
Pu-241	7,44E-05	7,20E-08	7,4E-05	2,0E-08	1,97E-08	1,1E-10	5,9E-09	7,4E-05	2,6E-08	1,2E-10	6,4E-09	1,32E-08
Ra-226	4,32E-01	2,35E-02	3,5E-01	2,2E-02	2,16E-02	1,2E-04	7,7E-03	3,4E-01	2,4E-02	1,3E-04	8,2E-03	2,14E-02
Ra-228	7,44E-03	1,30E-02	8,6E-03	1,2E-02	1,18E-02	7,0E-05	4,3E-03	7,1E-03	1,3E-02	7,6E-05	4,6E-03	1,18E-02
Ru-103	1,94E-03	6,24E-03	2,5E-03	5,5E-03	5,52E-03	3,6E-05	2,1E-03	1,8E-03	6,2E-03	3,9E-05	2,3E-03	5,76E-03
Ru-106	1,63E-02	6,00E-03	1,9E-02	3,5E-03	3,60E-03	1,5E-05	9,3E-04	1,7E-02	6,1E-03	1,7E-05	1,0E-03	2,64E-03
S-35	6,72E-04	1,15E-06	6,8E-04	4,6E-07	4,56E-07			6,7E-04	1,5E-06			
Sb-124	6,24E-03	2,40E-02	8,4E-03	2,2E-02	2,21E-02	1,3E-04	8,0E-03	5,9E-03	2,5E-02	1,4E-04	8,5E-03	2,23E-02
Sb-125	1,75E-03	5,52E-03	2,3E-03	5,0E-03	5,04E-03	3,2E-05	1,9E-03	1,7E-03	5,7E-03	3,5E-05	2,0E-03	5,28E-03
Se-75	5,76E-04	5,04E-03	1,1E-03	4,6E-03	4,56E-03	2,8E-05	1,6E-03	5,0E-04	5,2E-03	3,1E-05	1,8E-03	4,08E-03
Se-79	7,68E-04	1,42E-06	7,7E-04	5,7E-07	5,76E-07			7,7E-04	1,8E-06			
Si-89	7,68E-03	4,08E-04	7,9E-03	1,7E-04	1,70E-04	6,2E-09	3,8E-07	7,5E-03	5,5E-04	6,7E-09	4,1E-07	1,06E-06
Si-90	1,44E-02	1,30E-03	1,5E-02	4,8E-04	4,80E-04	7,8E-12	3,5E-10	1,4E-02	1,5E-03	8,4E-12	3,8E-10	3,60E-09
Tc-99	1,39E-03	4,56E-06	1,4E-03	9,9E-06	2,88E-06			1,4E-03	9,0E-06			
Te-129m	8,16E-03	1,32E-05	8,6E-03	9,9E-04	9,84E-04	5,6E-06	3,1E-04	8,1E-03	1,5E-03	6,0E-06	3,3E-04	8,40E-04
Te-132	1,01E-02	3,36E-02	1,3E-02	3,1E-02	3,12E-02	1,9E-04	1,1E-02	9,5E-03	3,5E-02	2,1E-04	1,2E-02	3,12E-02
Th-227	4,80E-01	5,52E-03	8,2E-02	1,2E-03	1,22E-03	7,7E-06	4,3E-04	8,2E-02	1,4E-03	8,4E-06	4,7E-04	1,10E-03
Th-228	4,56E-01	2,11E-02	4,6E-01	1,9E-02	1,94E-02	1,0E-04	6,6E-03	4,6E-01	2,2E-02	1,1E-04	7,0E-03	1,87E-02
Th-230	6,48E-02	1,06E-05	6,5E-02	5,8E-06	5,76E-06	3,0E-08	1,6E-06	6,5E-02	9,7E-06	3,2E-08	1,7E-06	4,80E-06
Th-231	2,35E-03	2,28E-04	2,5E-03	1,6E-04	1,58E-04	9,8E-07	4,5E-05	2,4E-03	2,4E-04	1,1E-06	4,9E-05	1,03E-04

Продолжение таблицы П4.3

Радионуклид	Речная дрейссена		Морянка				Съедобная лягушка					
	DC (мкг/сут)/(Бк/кг)	DCF <sup>water_fresh</sup> (мкг/сут)/(Бк/кг)	DC	DCF <sup>water_fresh</sup> (мкг/сут)/(Бк/кг)	DCF <sup>water_sea</sup> (мкг/сут)/(Бк/кг)	DCF <sup>soil_pl</sup> (мкг/сут)/(Бк/м2)	DCF <sup>soil</sup> (мкг/сут)/(Бк/кг)	DC	DCF <sup>water_fresh</sup> (мкг/сут)/(Бк/кг)	DCF <sup>soil_pl</sup> (мкг/сут)/(Бк/м2)	DCF <sup>soil</sup> (мкг/сут)/(Бк/кг)	DCF <sup>in soil</sup> (мкг/сут)/(Бк/кг)
Th-232	5,52E-02	7,92E-06	5,6E-02	3,4E-06	3,36E-06	1,6E-08	9,4E-07	5,5E-02	6,9E-06	1,8E-08	1,0E-06	3,36E-06
Th-234	1,13E-02	1,27E-03	1,2E-02	6,7E-04	6,72E-04	1,8E-06	1,0E-04	1,1E-02	1,5E-03	2,0E-06	1,1E-04	2,64E-04
U-234	6,48E-02	9,84E-06	6,6E-02	3,7E-06	3,60E-06	1,7E-08	1,5E-06	6,6E-02	8,8E-06	1,8E-08	1,7E-06	4,08E-06
U-235	6,24E-02	2,21E-03	6,4E-02	1,9E-03	1,94E-03	1,2E-05	6,5E-04	6,4E-02	2,3E-03	1,3E-05	7,0E-04	1,58E-03
U-238	1,37E-01	1,27E-03	5,8E-02	2,3E-06	2,28E-06	9,3E-09	1,0E-06	5,8E-02	6,4E-06	1,0E-08	1,2E-06	2,88E-06
Zn-65	5,38E-04	7,64E-03	1,2E-03	7,0E-03	7,00E-03	4,2E-05	2,6E-03	4,4E-04	7,7E-03	4,5E-05	2,8E-03	7,17E-03
Zr-95	2,14E-03	9,84E-03	3,1E-03	8,8E-03	8,88E-03	5,5E-05	3,3E-03	2,0E-03	9,8E-03	6,0E-05	3,6E-03	9,36E-03





Продолжение таблицы П4.4

Радионуклид	Сосна обыкновенная			Ковыль Лесинга			Костер безостый			Овсяница луговая			Ягель		
	DC (мкг/сут)/(Бк/кг)	$DCF^{soil,pl}$ (мкг/сут)/(Бк/кг/м <sup>2</sup> )	$DCF^{soil}$ (мкг/сут)/(Бк/кг)	DC (мкг/сут)/(Бк/кг)	$DCF^{soil}$ (мкг/сут)/(Бк/кг)	DC (мкг/сут)/(Бк/кг)	$DCF^{soil}$ (мкг/сут)/(Бк/кг)	DC (мкг/сут)/(Бк/кг)	$DCF^{soil}$ (мкг/сут)/(Бк/кг)	DC (мкг/сут)/(Бк/кг)	$DCF^{soil}$ (мкг/сут)/(Бк/кг)	DC (мкг/сут)/(Бк/кг)	$DCF^{soil}$ (мкг/сут)/(Бк/кг)	DC (мкг/сут)/(Бк/кг)	$DCF^{soil}$ (мкг/сут)/(Бк/кг)
Sr-90	1,6E-02	9,0E-11	1,4E-10	1,22E-02	3,12E-09	1,22E-02	3,12E-09	1,22E-02	3,12E-09	1,22E-02	3,12E-09	7,61E-03	3,90E-10	7,61E-03	3,90E-10
Ts-99	1,4E-03			1,39E-03		1,39E-03		1,39E-03		1,39E-03		1,32E-03		1,32E-03	
Te-129m	9,1E-03	5,0E-06	2,6E-04	7,44E-03	3,36E-04	7,44E-03	3,36E-04	7,44E-03	3,36E-04	7,44E-03	3,36E-04	5,55E-03	3,33E-04	5,55E-03	3,33E-04
Te-132	2,8E-02	1,4E-04	9,8E-03	7,92E-03	1,22E-02	7,92E-03	1,22E-02	7,92E-03	1,22E-02	7,92E-03	1,22E-02	5,83E-03	1,25E-02	5,83E-03	1,25E-02
Th-227	8,3E-02	6,4E-06	3,8E-04	8,16E-02	4,80E-04	8,16E-02	4,80E-04	8,16E-02	4,80E-04	8,16E-02	4,80E-04	8,22E-02	4,71E-04	8,22E-02	4,71E-04
Th-228	4,7E-01	7,8E-05	5,5E-03	4,56E-01	6,72E-03	4,56E-01	6,72E-03	4,56E-01	6,72E-03	4,56E-01	6,72E-03	4,52E-01	7,00E-03	4,52E-01	7,00E-03
Th-230	7,0E-02	5,4E-06	2,6E-04	6,48E-02	3,36E-06	6,48E-02	3,36E-06	6,48E-02	3,36E-06	6,48E-02	3,36E-06	6,49E-02	1,73E-06	6,49E-02	1,73E-06
Th-231	6,5E-02	6,4E-08	1,1E-06	2,35E-03	6,48E-05	2,35E-03	6,48E-05	2,35E-03	6,48E-05	2,35E-03	6,48E-05	2,26E-03	5,02E-05	2,26E-03	5,02E-05
Th-232	2,6E-03	1,6E-06	3,2E-05	5,52E-02	2,64E-06	5,52E-02	2,64E-06	5,52E-02	2,64E-06	5,52E-02	2,64E-06	5,55E-02	1,05E-06	5,55E-02	1,05E-06
Th-234	5,6E-02	5,1E-08	5,0E-07	9,60E-03	1,13E-04	9,60E-03	1,13E-04	9,60E-03	1,13E-04	9,60E-03	1,13E-04	5,98E-03	1,11E-04	5,98E-03	1,11E-04
U-234	1,2E-02	1,6E-06	8,8E-05	6,72E-02	3,36E-06	6,72E-02	3,36E-06	6,72E-02	3,36E-06	6,72E-02	3,36E-06	6,61E-02	1,72E-06	6,61E-02	1,72E-06
U-235	6,6E-02	8,1E-08	4,3E-07	6,42E-02	7,44E-04	6,42E-02	7,44E-04	6,42E-02	7,44E-04	6,42E-02	7,44E-04	6,38E-02	7,11E-04	6,38E-02	7,11E-04
U-238	5,8E-02	6,3E-08	1,7E-07	5,76E-02	2,40E-06	5,76E-02	2,40E-06	5,76E-02	2,40E-06	5,76E-02	2,40E-06	5,81E-02	1,20E-06	5,81E-02	1,20E-06
Zn-65	4,1E-03	3,2E-05	2,2E-03	2,43E-04	2,69E-03	2,43E-04	2,69E-03	2,43E-04	2,69E-03	2,43E-04	2,69E-03	1,43E-04	2,80E-03	1,43E-04	2,80E-03
Zr-95	7,2E-03	4,1E-05	2,8E-03	1,75E-03	3,60E-03	1,75E-03	3,60E-03	1,75E-03	3,60E-03	1,75E-03	3,60E-03	1,55E-03	3,64E-03	1,55E-03	3,64E-03

### Пример расчета ущерба от вреда биоте в зоне отчуждения ЯРОО (условный сценарий)

Предположим, что при строительстве ЯРОО образована зона отчуждения размером в 1 га, на которой предполагается полное разрушение существующего почвенного покрова. В результате произведенных действий причинен вред среде обитания объектов животного мира:

- уничтожены почва, подстилка и иные местообитания беспозвоночных животных, в том числе беспозвоночных животных, относящихся к видам, занесенным в Красную книгу Российской Федерации;
- уничтожена среда обитания объектов животного мира, не относящихся к беспозвоночным животным.

Территория расположения участка относится к зоне смешанных лесов. Участок является средой обитания видов характерных для данной природно-климатической зоны, в том числе:

- пресмыкающихся (ящерицы и змеи);
- птиц (отряд дятлообразные, отряд воробьинообразные, отряд удообразные);
- млекопитающих (семейство ежевых, семейство землеройковых, семейство мышиных).

Участок также является средой обитания вида, занесенного в Красную книгу Российской Федерации, – бабочки Мнемозина (*Parnassius mnemosyne*).

Размер вреда объектам окружающей среды исчисляется в соответствии со следующими нормативными документами [Методика, 2008; Методика, 2011; Постановление, 1994; Постановление, 2007; Приказ Минприроды, 2008; Приказ Минприроды, 2011; Приказ Минсельхоза, 2010; Таксы, 2011; Федеральный, 2004].

Размер вреда, причиненного уничтожением почвы (подстилки) и иных местообитаний беспозвоночных животных, за исключением бабочки Мнемозина, определяется по формуле (П5.1):

$$B_{\text{почв}} = Z_{\text{кр}} \cdot V + HC_{\text{пб}} \cdot S \cdot K_{\text{ит}} + HC_{\text{пб}} \cdot S \cdot K_{\text{ит}}, \quad (\text{П5.1})$$

где  $Z_{\text{кр}} = 1000 \text{ руб./м}^3$  – затраты на выполнение комплекса работ, связанных с приобретением, транспортировкой и размещением растительного грунта, по замене уничтоженной почвы (подстилки) и иных местообитаний;

$V$  – объем уничтоженной почвы (подстилки),  $V = 10000 \text{ м}^2 \times 0,5 \text{ м} = 5000 \text{ м}^3$ ;

$HC_{\text{пб}}$  – норматив стоимости почвенных беспозвоночных животных, обитающих на  $1 \text{ м}^2$  земельного участка,  $HC_{\text{пб}} = 143 \text{ руб./м}^2$ ;

$S = 10000 \text{ м}^2$  – площадь земельного участка, на котором уничтожены почва, подстилка и иные местообитания беспозвоночных животных, за исключением бабочки Мнемозина;

$HC_{\text{ит}} = 50 \text{ руб./экз.}$  – норматив стоимости объектов животного мира, относящихся к иным беспозвоночным животным (непочвенным), исключая беспозвоночных животных, занесенных в Красную книгу Российской Федерации;

$K_{\text{ит}} = 1$  – показатель, учитывающий инфляцию (оценка ущерба от вреда проведена в 2014 году).

Подставляя значения перечисленных выше параметров в формулу (П5.1) получаем, что размер ущерба от вреда, причиненного уничтожением почвы, составляет 6 930 000 руб.

Размер ущерба от вреда, причиненного уничтожением среды обитания объектов животного мира, не относящихся к беспозвоночным животным, и вида беспозвоночных животных,

занесенного в Красную книгу Российской Федерации, – бабочки Мнемозина, определяется по формуле (П5.2) для каждого вида:

$$V_{yc} = N_{сч} \cdot НС \cdot K_{ит} \cdot K_{бп} + 30 \quad (П5.2)$$

Результаты расчетов в рассматриваемом случае представлены в таблице П5.1. Сокращение численности животных определяется в размере 100% численности популяции. Численность животных определена исходя из средних биологических норм плотности каждого вида.

Таблица П5.1 – Оценка ущерба от вреда, причиненного среде обитания объектов животного мира, не относящихся к беспозвоночным видам животных, и среде обитания бабочки Мнемозина в зоне отчуждения ЯРОО площадью 1 га (условный сценарий)

Вид животного	Численность, экз.	Норматив стоимости, руб./экз.	Коэффициент учета стоимости будущих поколений	Размер ущерба, руб.
Насекомые - бабочка Мнемозина	1	3000	10	30000
Ящерицы	200	500	1	100000
Змеи	100	3000	1	300000
Птицы				
Отряд Дятлообразные	5	3500	1	17500
Отряд Воробьинообразные	1000	1000	1	1000000
Отряд Удодообразные	2	2000	1	4000
Млекопитающие				
Семейство Ежовые	100	1000	1	100000
Семейство Землеройковые	1000	100	1	100000
Семейство Мышиные	1000	100	1	100000
<b>ИТОГО:</b>				<b>1 727 500</b>

Размер ущерба от вреда, причиненного среде обитания объектов животного мира, за исключением почвенных беспозвоночных и беспозвоночных, не относящихся к видам, занесенным в Красную книгу Российской Федерации, составляет 1 727 500 руб.

Итого общий размер ущерба от вреда объектам животного мира в рассмотренном условном сценарии для зоны отчуждения ЯРОО площадью 1 га составляет:

$6\,930\,000 + 1\,727\,500 = 8\,657\,500$  руб. (восемь миллионов шестьсот пятьдесят семь тысяч пятьсот рублей).

Радиологический глоссарий

Термин	Определение	Источник
Аварийная ситуация	внештатная ситуация или внештатное событие, которые требуют принятия оперативных мер для смягчения опасности или неблагоприятных последствий для здоровья человека и безопасности или качества жизни, собственности или окружающей среды.	Свод правил - 2013
Аварийное реагирование	осуществление мер, направленных на смягчение последствий аварийной ситуации для здоровья человека и безопасности, качества жизни, собственности и окружающей среды.	Свод правил - 2013
Авария радиационная	потеря управления источником ионизирующего излучения, вызванная неисправностью оборудования, неправильными действиями работников (персонала), стихийными бедствиями или иными причинами, которая могла привести или привела к облучению людей выше установленных норм или радиоактивному загрязнению окружающей среды.	НРБ, 2009
Активность	мера радиоактивности какого-либо количества радионуклида, находящегося в данном энергетическом состоянии в данный момент времени: $A = dN/dt$ , где $dN$ - ожидаемое число спонтанных ядерных превращений из данного энергетического состояния, происходящих за промежуток времени $dt$ . Единицей активности является беккерель (Бк). Используемая ранее внесистемная единица активности кюри (Ки) составляет $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк.	НРБ, 2009
Активность минимально значимая (МЗА)	активность открытого источника, ионизирующего излучения в помещении или на рабочем месте, при превышении которой требуется разрешение органов госсанэпиднадзора на использование этих источников, если при этом также превышено значение минимально значимой удельной активности.	Свод правил - 2013
Активность минимально значимая удельная (МЗУА)	удельная активность открытого источника, ионизирующего излучения в помещении или на рабочем месте, при превышении которой требуется разрешение органов госсанэпиднадзора на использование этого источника.	Свод правил - 2013
Активность удельная (объемная)	отношение активности радионуклида в веществе к массе, объему вещества. Единица удельной активности - беккерель на килограмм, Бк/кг. Единица объемной активности - беккерель на метр кубический, Бк/м <sup>3</sup> или внесистемная единица - беккерель на литр, Бк/л.	Рекомендации, 2013
Активность эквивалентная равновесная объемная (ЭРОА) дочерних продуктов изотопов радона – <sup>222</sup> Rn и <sup>220</sup> Rn	взвешенная сумма объемных активностей короткоживущих дочерних продуктов изотопов радона – <sup>218</sup> Po (RaA); <sup>214</sup> Pb (RaB); <sup>214</sup> Bi (RaC); <sup>212</sup> Pb (ThB); <sup>212</sup> Bi (ThC) соответственно: (ЭРОА) <sub>Rn</sub> =0,10*ARaA+0,52*ARaB+0,38*ARaC, (ЭРОА) <sub>Tn</sub> =0,91*AThB+0,09*AThC, где $A_i$ – объемные активности дочерних продуктов изотопов радона и торона	Свод правил - 2013



Амбиентный эквивалент дозы (амбиентная доза)	эквивалент дозы, который был бы создан в шаровом фантоме Международной комиссии по радиационной защите (МКРЕ) – шар диаметром 30 см из тканеэквивалентного материала плотностью 1 г/куб.см – на глубине d (мм) от поверхности по диаметру, параллельному направлению излучения, в поле излучения, идентичном рассматриваемому по составу, флюенсу и энергетическому распределению, но мононаправленным и однородным.	Свод правил - 2013
Анализ риска	систематическое использование информации для определения источников и количественной оценки риска. Примечания: 1 Анализ риска обеспечивает базу для оценивания риска, мероприятий по снижению риска и принятия риска. 2 Информация может включать в себя исторические данные, результаты теоретического анализа, информированное мнение и касаться причастных сторон.	ГОСТ Р 51897-2002
Антропогенный объект	объект, созданный человеком для обеспечения его социальных потребностей и не обладающий свойствами природных объектов.	№7-ФЗ
Атомная станция	промышленное предприятие, расположенное в пределах конкретной территории и предназначенное для производства энергии в заданных режимах и условиях применения, на котором для осуществления этой цели используется ядерный реактор (реакторы) и комплекс необходимых систем, устройств, оборудования и сооружений с необходимым персоналом.	Свод правил - 2013
Биологический период полураспада (полувыведения)	время, в течение которого количество материала в данной ткани, данном органе или данной части тела (или в любой другой конкретной биоте) уменьшается в два раза в результате биологических процессов.	Свод правил - 2013
Биота	совокупность живых организмов.	Методика, 2010
Благоприятная окружающая среда	окружающая среда, качество которой обеспечивает устойчивое функционирование естественных экологических систем, природных и природно-антропогенных объектов.	№7-ФЗ
Благоприятные условия жизнедеятельности и человека	состояние среды обитания, при котором отсутствует вредное воздействие ее факторов на человека (безвредные условия) и имеются возможности для восстановления нарушенных функций организма человека.	Свод правил - 2013
Вековое (секулярное) равновесие	состояние радиоактивного вещества, при котором количество распадов дочернего радиоактивного вещества совпадает с числом распадов материнского вещества.	Свод правил - 2013
Верхний уровень стрессора, не вызывающий неблагоприятного эффекта; ВУС	самый высокий уровень стрессора, установленный в процессе испытаний на токсичность или при проведении биологического наблюдения в полевых условиях, который не вызывает статистически значимого влияния на данную окружающую среду по сравнению с контрольным или эталонным участком.	ГОСТ Р 14.09-2005
Вещество радиоактивное	вещество в любом агрегатном состоянии, содержащее радионуклиды с активностью, на которые распространяются требования действующих Норм и Правил.	Свод правил - 2013
Взвешивающие коэффициенты для отдельных видов излучения при расчете	используемые в радиационной защите множители поглощенной дозы, учитывающие относительную эффективность различных видов излучения в индуцировании биологических эффектов.	Свод правил - 2013

эквивалентной дозы		
Взвешивающие коэффициенты для тканей и органов при расчете эффективной дозы	множители эквивалентной дозы в органах и тканях, используемые в радиационной защите для учета различной чувствительности разных органов и тканей в возникновении стохастических эффектов радиации.	Свод правил - 2013
Вмешательство	действие, направленное на снижение вероятности облучения, либо дозы или неблагоприятных последствий облучения.	Свод правил - 2013
Водный объект	природный или искусственный водоем, водоток либо иной объект, постоянное или временное сосредоточение вод в котором имеет характерные формы и признаки водного режима.	Свод правил - 2013
Вред окружающей среде	негативное изменение окружающей среды в результате ее загрязнения, повлекшее за собой деградацию естественных экологических систем и истощение природных ресурсов.	№7-ФЗ
Вредное воздействие на человека	воздействие факторов среды обитания, создающее угрозу жизни или здоровью человека либо угрозу жизни или здоровью будущих поколений.	Свод правил - 2013
Гамма-излучение	излучение, состоящее из гамма-квантов (фотонов ядерного происхождения).	Свод правил - 2013
Гамма-квант	фотон ядерного происхождения.	Свод правил - 2013
Гигиенический норматив	установленное исследованиями допустимое максимальное или минимальное количественное и (или) качественное значение показателя, характеризующего тот или иной фактор среды обитания с позиций его безопасности и (или) безвредности для человека.	Свод правил - 2013
Гидробионты (водные организмы)	организмы, обитающие в водной среде.	Методика, 2010
Государственный экологический мониторинг (государственный мониторинг окружающей среды)	комплексные наблюдения за состоянием окружающей среды, в том числе компонентов природной среды, естественных экологических систем, за происходящими в них процессами, явлениями, оценка и прогноз изменений состояния окружающей среды.	№7-ФЗ
Группа критическая	группа лиц из населения (не менее 10 чел.), однородная по одному или нескольким признакам - полу, возрасту, социальному или профессиональным условиям, месту проживания, рациону питания, которая подвергается наибольшему радиационному воздействию по данному пути облучения от данного источника излучения.	НРБ, 2009
Доза в органе или ткани	средняя поглощенная доза в определенном органе или ткани человеческого тела.	Свод правил - 2013

Доза поглощенная	величина энергии ионизирующего излучения, переданная веществу $D = d\bar{e}/dm$ , где $d\bar{e}$ - средняя энергия, переданная ионизирующим излучением веществу, находящемуся в элементарном объеме, $dm$ - масса вещества в этом объеме. Энергия может быть усреднена по любому определенному объему, и в этом случае средняя доза будет равна полной энергии, переданной объему, деленной на массу этого объема. В единицах СИ поглощенная доза измеряется в джоулях, деленных на килограмм ( $\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$ ), и имеет специальное название - грей (Гр). Используемая ранее внесистемная единица рад равна 0,01 Гр.	НРБ, 2009
Доза эквивалентная	поглощенная доза в органе или ткани, умноженная на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного вида излучения.	НРБ, 2009
Доза эффективная	величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учетом их радиочувствительности.	Свод правил - 2013
Доза эффективная коллективная	мера коллективного риска возникновения стохастических эффектов облучения; она равна сумме индивидуальных эффективных доз. Единица эффективной коллективной дозы - человеко-зиверт (чел.-Зв).	НРБ, 2009
Дозовый уровень вмешательства	уровень ожидаемой или предотвращаемой дозы, при котором проводятся конкретные меры или принимаются восстановительные меры при возникновении ситуации аварийного облучения или ситуации хронического облучения.	Свод правил - 2013
Допустимый выброс (газообразных радиоактивных отходов)	уровень мощности выброса газообразных радиоактивных отходов, устанавливаемый в качестве рабочей нормы, но не выше предельно допустимого выброса.	Свод правил - 2013
Допустимый сброс радиоактивных веществ в водный объект (ДС)	установленный для каждого источника в качестве основной нормы и утверждаемый в установленном порядке разрешенный сброс радиоактивных веществ в поверхностный водный объект за единицу времени (год). Устанавливается с целью обеспечения действующих санитарных правил и норм радиационной безопасности населения, а также нормативов качества окружающей среды. Периодически пересматривается в соответствии с действующим законодательством.	Методика, 2010
Допустимый установленный сброс (жидких радиоактивных отходов)	жидкие радиоактивные отходы, удаляемые в окружающую среду в соответствии с действующими нормами радиационной безопасности.	Свод правил - 2013
Единство измерений	состояние измерений, при котором их результаты выражены в допущенных к применению в Российской Федерации единицах величин, а показатели точности измерений не выходят за установленные границы.	Свод правил - 2013
Естественная экологическая система	объективно существующая часть природной среды, которая имеет пространственно-территориальные границы и в которой живые (растения, животные и другие организмы) и неживые ее элементы взаимодействуют как единое функциональное целое и связаны между собой обменом веществом и энергией.	№7-ФЗ

Естественный радиационный фон	доза излучения, создаваемая космическим излучением и излучением природных радионуклидов, естественно распределенных в земле, воде, воздухе, других элементах биосферы, пищевых продуктах и организме человека.	№3-ФЗ
Загрязнение	привнесение в среду или возникновение в ней новых, обычно не характерных для нее физических, химических, биологических агентов, приводящих к превышению в рассматриваемое время естественного среднесуточного уровня концентраций перечисленных агентов в среде, и, как следствие, к негативным воздействиям на людей и окружающую среду. [ГОСТ 30772-2001, статья 6.4]. Примечание - Степень загрязнения характеризуется и оценивается, как правило, количественными показателями.	ГОСТ Р 14.09-2005
Загрязнение радиоактивное	загрязнение поверхности земли, атмосферы, воды либо продовольствия, пищевого сырья, кормов и различных предметов радиоактивными веществами в количествах, превышающих уровень, установленный нормами радиационной безопасности и правилами работы с радиоактивными веществами.	ГОСТ Р 22.0.05-94
Загрязнитель	любой агент, имеющий природное или техногенное происхождение (прежде всего физический агент, химическое вещество и биологический вид - главным образом микроорганизмы), попадающий в окружающую среду или возникающий к ней в количествах, выходящих за рамки обычных предельных естественных колебаний или среднего природного фона, и негативно влияющий на качество окружающей природной среды и здоровье человека. [ГОСТ 30772-2001, статья 6.1]. Примечание - Объект, в первую очередь, организация или субъект, служащие источником загрязнения окружающей среды.	ГОСТ Р 14.09-2005
Захоронение радиоактивных отходов (захоронение)	безопасное размещение радиоактивных отходов в пункте захоронения радиоактивных отходов без намерения их последующего извлечения.	Свод правил - 2013
Зона наблюдения	территория за пределами санитарно-защитной зоны, на которой проводится радиационный контроль.	НРБ, 2009
Зона радиационной аварии	территория, на которой установлен факт радиационной аварии.	НРБ, 2009
Зона радиоактивного загрязнения	территория, подвергшаяся радиоактивному загрязнению в результате радиационной аварии.	Свод правил - 2013
Идентификация опасности	определение, может ли воздействие стрессора вызвать усиление неблагоприятного эффекта в окружающей среде и какова вероятность наступления неблагоприятного события.	ГОСТ Р 14.09-2005
Измерения радиационные	измерения величин и параметров, характеризующих источники и поля ионизирующих излучений, а также радиационное облучение различных объектов, включая людей.	Рекомендации, 2010
Изотоп	атомы одного и того же элемента, имеющие отличное друг от друга массовое число.	Свод правил - 2013

Ингаляционное поступление	поступление радиоактивного вещества через органы дыхания (включая вещества, которые в конечном итоге попадают в пищеварительную систему).	Свод правил - 2013
Индекс опасности; ИО	показатель, характеризующий опасность загрязнения, выражаемый безразмерной величиной, значение которой равно сумме коэффициентов опасности для множества загрязняющих веществ и/или многочисленных способов воздействия на окружающую среду.	ГОСТ Р 14.09-2005
Ионизирующее излучение	излучение, которое создается при радиоактивном распаде, ядерных превращениях, торможении заряженных частиц в веществе и образует при взаимодействии со средой ионы разных знаков.	№3-ФЗ
Источник излучения природный	источник ионизирующего излучения природного происхождения, на который распространяется действие санитарных Норм и Правил.	НРБ, 2009
Источник излучения техногенный	источник ионизирующего излучения, специально созданный для его полезного применения или являющийся побочным продуктом этой деятельности.	НРБ, 2009
Источник ионизирующего излучения	радиоактивное вещество или устройство, испускающее или способное испускать ионизирующее излучение, на которое распространяется действие санитарных Норм и Правил.	Свод правил - 2013
Источник радионуклидный закрытый	источник излучения, устройство которого исключает поступление содержащихся в нем радионуклидов в окружающую среду в условиях применения и износа, на которые он рассчитан.	НРБ, 2009
Источник радионуклидный открытый	источник излучения, при использовании которого возможно поступление содержащихся в нем радионуклидов в окружающую среду.	НРБ, 2009
Квота предела дозы	часть предела дозы, установленная для ограничения облучения населения от конкретного техногенного источника излучения и пути облучения (внешнее облучение, поступление с водой, пищей, или ингаляционное поступление). Выделение квоты согласуется с органами санитарно-эпидемиологического надзора.	Методика, 2010
Количественная оценка риска	процесс присвоения значений вероятности и последствий риска. Примечание - Количественная оценка риска может учитывать стоимость, выгоды, интересы причастных сторон и другие переменные, рассматриваемые при оценивании риска.	ГОСТ Р 51897-2002
Компоненты природной среды	1. земля, недра, почвы, поверхностные и подземные воды, атмосферный воздух, растительный, животный мир и иные организмы, а также озоновый слой атмосферы и околоземное космическое пространство, обеспечивающие в совокупности благоприятные условия для существования жизни на Земле.	№7-ФЗ
Конечная точка измерения; КТИ	измеряемая экологическая характеристика объекта, связанная с оцениваемой характеристикой воздействия загрязнения, выбранной в качестве конечной точки оценки. Примечания: 1) КТИ - измеряемый биологический отклик объекта на воздействующий фактор, который может быть связан со значимыми характеристиками, выбранными в качестве КТО. 2) КТИ обычно выражают как статистические или арифметические суммы наблюдений, включаемых в измерение. КТИ, как правило, является числовым выражением результатов наблюдений, например, испытания на токсичность, мер по обеспечению многообразия	ГОСТ Р 14.09-2005

	сообществ (испытуемых объектов), которые могут статистически сопоставляться с эталонным объектом с целью определения отрицательной реакции испытуемого объекта на воздействие загрязнения. 3) КТИ являются мерой биологических изменений объекта под воздействием загрязнения, например, воспроизводство, развитие, смертность.	
Конечная точка оценки; КТО	точка, определяющая значение экологической характеристики (показателя) или экологической ценности испытуемого объекта, который не должен подвергаться воздействию загрязнения.	ГОСТ Р 14.09-2005
Контроль в области охраны окружающей среды (экологический контроль)	система мер, направленная на предотвращение, выявление и пресечение нарушения законодательства в области охраны окружающей среды, обеспечение соблюдения субъектами хозяйственной и иной деятельности требований, в том числе нормативов и нормативных документов, в области охраны окружающей среды	№7-ФЗ
Контроль объектов окружающей среды	система организационно-технических мероприятий по контролю содержания радиоактивных веществ в объектах окружающей среды.	Рекомендации, 2010
Контроль радиационной обстановки	получение необходимой и достоверной информации о значениях и динамике изменения параметров радиационной обстановки и сравнение этих значений с установленными нормами.	Свод правил - 2013
Контрольный уровень	значение контролируемой величины, устанавливаемое для оперативного радиационного контроля с целью оценки соответствия условий облучения или радиационной обстановки определенным требованиям и принятия решения о корректирующих мероприятиях. К числу специальных контрольных уровней относятся: допустимая удельная активность пищевых продуктов, уровень вмешательства, уровень исследования.	Рекомендации, 2010
Концептуальная модель; КМ	модель, описывающая ряд рабочих гипотез действия стрессора на экологические компоненты объекта и/или окружающей среды. Примечание - КМ описывает экосистему или ее компоненты, подверженные риску, соотношения между КТИ, КТО и сценариями воздействия.	ГОСТ Р 14.09-2005
Коэффициент опасности	отношение уровня внешнего воздействия загрязнения на организм к значению токсичности, выбранному для оценки риска применительно к данному организму.	ГОСТ Р 14.09-2005
Коэффициент радиационного риска	величина радиационного риска в расчете на единичное содержание радионуклида в компоненте природной среды.	Рекомендации, 2013
Коэффициент распределения радионуклидов между водой и взвесью	отношение удельной активности взвеси (твердая фаза) к удельной активности воды (фильтрата) в равновесном состоянии.	Методика, 2010
Коэффициент распределения радионуклидов между поровой водой и донными отложениями	отношение удельной активности донных отложений (твердая фаза) к удельной активности поровой воды в равновесном состоянии.	Методика, 2010

Критерии приемлемости радиоактивных отходов для их захоронения (критерии приемлемости)	требования к физико-химическим свойствам радиоактивных отходов и упаковкам радиоактивных отходов, установленные в целях безопасного захоронения радиоактивных отходов и обязательные для исполнения.	Свод правил - 2013
Критерии принятия решения	пороговые величины, целевые значения или образцы, используемые для определения необходимости действия или дальнейшего исследования или для описания уровня уверенности в данном результате.	Свод правил - 2013
Критерии риска	правила, по которым оценивают значимость риска. Примечание - Критерии риска могут включать в себя сопутствующие стоимость и выгоды, законодательные и обязательные требования, социально-экономические и экологические аспекты, озабоченность причастных сторон, приоритеты и другие затраты на оценку.	ГОСТ Р 51897-2002
Критический участок водной системы	наиболее значимый участок с точки зрения одного (или нескольких) из видов облучения по одному (или нескольким радионуклидам) либо с точки зрения возможности нарушения одного из нормативов. Для внешнего облучения критическим является участок, на котором может происходить наибольшее внешнее облучение лиц из критической группы населения (пляж, пребывание на пойме). Для потребления питьевой воды, орошения и водопоя скота критическим является участок, на котором осуществляется забор воды для вышеуказанных целей. Для потребления рыбы критическим является участок, на котором может произойти наибольшее накопление радионуклидов в рыбе.	Методика, 2010
Лаборатория радиационного контроля	обобщенное наименование измерительных и испытательных лабораторий (центров, служб, постов) или их подразделений, выполняющих радиационные измерения.	Рекомендации, 2010
Лимиты на выбросы и сбросы загрязняющих веществ и микроорганизмов	ограничения выбросов и сбросов загрязняющих веществ и микроорганизмов в окружающую среду, установленные на период проведения мероприятий по охране окружающей среды, в том числе внедрения наилучших существующих технологий, в целях достижения нормативов в области охраны окружающей среды.	№7-ФЗ
Линейная беспороговая гипотеза (концепция)	гипотеза о том, что риск стохастических эффектов прямо пропорционален дозе для всех уровней дозы и мощности дозы (ниже уровней, при которых появляются детерминированные эффекты).	Свод правил - 2013
Максимальная удельная активность (МУА) в воде	удельная активность радионуклида в воде поверхностного водоема, принимающего жидкие сбросы ОИАЭ, при превышении которой нарушаются критерии радиационной безопасности, ограничивающие жидкие сбросы, установленные для ОИАЭ (превышаются квоты дозовых нагрузок и/или нарушаются санитарно-гигиенические или экологические ограничения).	Методика, 2010
Менеджмент риска	скоординированные действия по руководству и управлению организацией в отношении риска. Примечание - Обычно менеджмент риска включает в себя оценку риска, обработку риска, принятие риска и коммуникацию риска.	ГОСТ Р 51897-2002

Методика радиационного контроля	установленная совокупность операций и правил выполнения радиационных измерений и обработки их результатов для контролируемого объекта, необходимых для получения полной и адекватной измерительной информации о состоянии объекта в соответствии с требованиями.	Рекомендации, 2010
Механизм токсического действия	механизм, с помощью которого химические вещества осуществляют свое токсическое воздействие на организм, производя изменения на уровне клеточной биохимии или физиологии.	ГОСТ Р 14.09-2005
Минимальная измеряемая активность	активность счетного образца, при измерении которой на данной спектрометрической установке за время один час относительная статистическая погрешность составляет 50% (с доверительной вероятностью $P=0,95$ ).	Рекомендации, 2010
Минимально значимая доза	индивидуальная годовая эффективная доза облучения (10 мкЗв), ниже которой на источник, ее создающий при любых условиях обращения с ним, не распространяются требования НРБ, 2009/2009.	Методика, 2010
Мониторинг за режимом территорий	система наблюдений и контроля для оценки состояния радиационной безопасности и безопасной жизнедеятельности населения на территориях радиоактивного загрязнения и прилегающих к ним землях и водных объектах с целью анализа и своевременного выявления тенденций неблагоприятного их изменения.	Свод правил - 2013
Мониторинг радиационной обстановки	система длительных регулярных наблюдений с целью оценки радиационной обстановки, а также прогноза изменения её в будущем. Мониторингу радиационной обстановки подлежат атмосферный воздух, поверхностные воды, почва и другие компоненты природной среды, а также донные отложения.	Рекомендации, 2013
Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды	долгосрочные наблюдения за состоянием окружающей среды, ее загрязнением и происходящими в ней природными явлениями, а также оценка и прогноз состояния окружающей среды, ее загрязнения.	Свод правил - 2013
Мощность дозы	доза ионизирующего излучения за единицу времени.	Рекомендации, 2013
Наилучшая существующая технология	технология, основанная на последних достижениях науки и техники, направленная на снижение негативного воздействия на окружающую среду и имеющая установленный срок практического применения с учетом экономических и социальных факторов.	№7-ФЗ
Наименьший уровень значимости неблагоприятного эффекта; НЗНЭ	уровень воздействия стрессора, определенный при испытаниях на токсичность или при проведении биологического наблюдения в полевых условиях, при котором наблюдается наименьший статистически значимый эффект неблагоприятного влияния на подвергавшиеся воздействию организмы по сравнению с не подвергавшимися неблагоприятному воздействию организмами на контрольном или эталонном участках.	ГОСТ Р 14.09-2005
Накопленные радиоактивные отходы	радиоактивные отходы, образовавшиеся до 15 июля 2011 г. (дата вступления в силу федерального закона от 11 июля 2011 №190-ФЗ) и внесенные в реестр радиоактивных отходов в установленном порядке.	Свод правил - 2013



Неопределенность измерений (контроля)	характеристика точности измерений искомой величины с помощью данного СИ и МВИ, определяющая разброс возможных при данном измерении значений, которые могли бы быть обоснованно приписаны измеряемой величине; оценивается как интервал вокруг измеренного значения величины, внутри которого с заданной вероятностью находится ее истинное значение (расширенная неопределенность).	Рекомендации, 2010
Нормальная жизнедеятельность населения	обеспечение выполнения для населения общепринятых требований радиационной безопасности и возможности ведения на загрязненной территории хозяйственной деятельности без применения специальных мероприятий по снижению содержания радионуклидов в продукции местного производства и происхождения.	Свод правил - 2013
Нормативные документы по обеспечению единства измерений	государственные стандарты, применяемые в установленном порядке международные (региональные) стандарты, правила, положения, инструкции и рекомендации.	Рекомендации, 2010
Нормативы в области охраны окружающей среды	установленные нормативы качества окружающей среды и нормативы допустимого воздействия на нее, при соблюдении которых обеспечивается устойчивое функционирование естественных экологических систем и сохраняется биологическое разнообразие.	№7-ФЗ
Нормативы допустимого воздействия на окружающую среду	нормативы, которые установлены в соответствии с показателями воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду и при которых соблюдаются нормативы качества окружающей среды.	№7-ФЗ
Нормативы допустимой антропогенной нагрузки на окружающую среду	нормативы, которые установлены в соответствии с величиной допустимого совокупного воздействия всех источников на окружающую среду и (или) отдельные компоненты природной среды в пределах конкретных территорий и (или) акваторий и при соблюдении которых обеспечивается устойчивое функционирование естественных экологических систем и сохраняется биологическое разнообразие.	№7-ФЗ
Нормативы допустимых выбросов и сбросов химических веществ, в том числе радиоактивных, иных веществ и микроорганизмов	нормативы, которые установлены для субъектов хозяйственной и иной деятельности в соответствии с показателями массы химических веществ, в том числе радиоактивных, иных веществ и микроорганизмов, допустимых для поступления в окружающую среду от стационарных, передвижных и иных источников в установленном режиме и с учетом технологических нормативов, и при соблюдении которых обеспечиваются нормативы качества окружающей среды.	№7-ФЗ
Нормативы качества окружающей среды	нормативы, которые установлены в соответствии с физическими, химическими, биологическими и иными показателями для оценки состояния окружающей среды и при соблюдении которых обеспечивается благоприятная окружающая среда.	№7-ФЗ

Нормативы предельно допустимых концентраций химических веществ, в том числе радиоактивных, иных веществ и микроорганизмов	нормативы, которые установлены в соответствии с показателями предельно допустимого содержания химических веществ, в том числе радиоактивных, иных веществ и микроорганизмов в окружающей среде и несоблюдение которых может привести к загрязнению окружающей среды, деградации естественных экологических систем.	№7-ФЗ
Нуклид	разновидность атомов с данным массовым числом и атомным номером.	Свод правил - 2013
Облучение	воздействие на человека ионизирующего излучения.	НРБ, 2009
Облучение природное	облучение, которое обусловлено природными источниками излучения.	НРБ, 2009
Облучение производственное	облучение работников от всех техногенных и природных источников ионизирующего излучения в процессе производственной деятельности.	НРБ, 2009
Облучение профессиональное	облучение персонала в процессе его работы с техногенными источниками ионизирующего излучения.	НРБ, 2009
Облучение техногенное	облучение от техногенных источников как в нормальных, так и в аварийных условиях, за исключением медицинского облучения пациентов.	НРБ, 2009
Обращение с радиоактивными отходами	деятельность по сбору, сортировке, переработке, кондиционированию, перевозке, хранению и захоронению радиоактивных отходов.	Свод правил - 2013
Объект радиационного мониторинга	объекты окружающей среды (радиационный фон), атмосфера, водохозяйственная система, система коммунальной инфраструктуры, объекты капитального строительства, продовольственное сырье и пищевые продукты, питьевая вода, продукция леса, сельскохозяйственная продукция, состояние информированности населения о влиянии радиации на состояние здоровья человека, документы по организации и проведению оперативных мероприятий в случае угрозы возникновения радиационной аварии и т.д.	Свод правил - 2013
Объект радиационного мониторинга на радиоактивно загрязненных территориях	критическая группа населения, объекты окружающей среды, атмосфера, земли различного назначения, референтные виды флоры и фауны, водохозяйственная система, система коммунальной инфраструктуры, объекты капитального строительства, линейные объекты, транспортные средства, продовольственное сырье и пищевые продукты, питьевая вода, сельскохозяйственная продукция, состояние информированности населения о радиационной обстановке, мероприятия по ликвидации последствий (контрмеры) радиационной аварии, мероприятия по оказанию помощи населению, подвергшемуся аварийному облучению, состояние условий жизнедеятельности населения на радиоактивно загрязненных территориях, деятельность государственных органов исполнительной власти по соблюдению особых режимов проживания (пребывания) населения на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению.	Свод правил - 2013

Объекты природного наследия	природные объекты, природные памятники, геологические и физиографические образования и строго ограниченные зоны, природные достопримечательные места, подпадающие под критерии выдающейся универсальной ценности и определенные Конвенцией об охране всемирного культурного и природного наследия.	№7-ФЗ
Окружающая среда	совокупность компонентов природной среды, природных и природно-антропогенных объектов, а также антропогенных объектов.	№7-ФЗ
Опасное природное явление	гидрометеорологическое или гелиогеофизическое явление, которое по интенсивности развития, продолжительности или моменту возникновения может представлять угрозу жизни или здоровью граждан, а также может наносить значительный материальный ущерб.	Свод правил - 2013
Операционная величина	величина, используемая в радиационном контроле для оценки обычно сложно определяемой контролируемой (нормируемой) величины; операционная величина однозначно определяется через характеристики источников или поля излучения для стандартных условий и насколько возможно приближена по смыслу к соответствующей контролируемой величине.	Рекомендации, 2010
Оптимизация риска	процесс, связанный с риском, направленный на минимизацию негативных и максимальное использование позитивных последствий и, соответственно, их вероятности. Примечания: 1 С точки зрения безопасности оптимизация риска направлена на снижение риска. 2 Оптимизация риска зависит от критериев риска с учетом стоимости и законодательных требований.	ГОСТ Р 51897-2002
Особо радиационно опасные и ядерно опасные производства и объекты (особо опасные объекты)	организации независимо от форм собственности, а также воинские части, занимающиеся разработкой, производством, эксплуатацией, хранением, транспортированием, утилизацией ядерного оружия, компонентов ядерного оружия, радиационно опасных материалов и изделий.	Свод правил - 2013
Особые радиоактивные отходы	радиоактивные отходы, для которых риски, связанные с радиационным воздействием, иные риски, а также затраты, связанные с извлечением таких радиоактивных отходов из пункта хранения радиоактивных отходов, последующим обращением с ними, в том числе захоронением, превышают риски и затраты, связанные с захоронением таких радиоактивных отходов в месте их нахождения.	Свод правил - 2013
Отходы радиоактивные	не предназначенные для дальнейшего использования вещества в любом агрегатном состоянии, в которых содержание радионуклидов превышает уровни, установленные санитарными Нормами и Правилами.	НРБ, 2009
Охрана окружающей среды	деятельность органов государственной власти Российской Федерации, органов государственной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления, общественных и иных некоммерческих объединений, юридических и физических лиц, направленная на сохранение и восстановление природной среды, рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов, предотвращение негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду и ликвидацию ее последствий (далее также - природоохранная деятельность).	№7-ФЗ

Оценивание риска	процесс сравнения количественно оцененного риска с данными критериями риска для определения значимости риска. Примечания: 1 Оценивание риска может быть использовано для содействия решениям по принятию или обработке риска. 2 Применительно к безопасности см. ГОСТ Р 51898-2002.	ГОСТ Р 51897-2002
Оценка воздействия на окружающую среду	вид деятельности по выявлению, анализу и учету прямых, косвенных и иных последствий воздействия на окружающую среду планируемой хозяйственной и иной деятельности в целях принятия решения о возможности или невозможности ее осуществления.	№7-ФЗ
Оценка риска	общий процесс анализа риска и оценивания риска.	ГОСТ Р 51897-2002
Параметр контролируемый (радиационный)	физическая величина, определяющая радиационные свойства объекта радиационного контроля.	Рекомендации, 2010
Паспорт радиационно-гигиенический организации	документ, характеризующий состояние радиационной безопасности в организации и содержащий рекомендации по ее улучшению.	Свод правил - 2013
Паспорт радиационно-гигиенический территории	документ, характеризующий состояние радиационной безопасности населения территории и содержащий рекомендации по ее улучшению.	Свод правил - 2013
Паспорт санитарный	документ, разрешающий организации в течение установленного времени проводить регламентированные работы с источниками ионизирующего излучения в конкретных помещениях, вне помещений или на транспортных средствах.	Свод правил - 2013
Период полураспада	время, за которое первоначальное количество радиоактивных атомов (ядер) уменьшается в 2 раза.	Свод правил - 2013
Период потенциальной опасности радиоактивных отходов	срок, в течение которого уровни радиоактивности радиоактивных отходов снижаются до показателей, при которых не требуется радиационный контроль.	Свод правил - 2013
Перкутантное поступление	поступление радионуклидов в организм через кожу.	Свод правил - 2013
Пероральное поступление	поступление радионуклидов в организм по пищевому пути через рот.	Свод правил - 2013
Плотность радиоактивного загрязнения	активность радионуклидов, содержащихся на или в почве, на единицу площади.	Свод правил - 2013
Поверхностная активность радионуклида	отношение активности радионуклида в радиоактивном материале, распределенном по данному элементу поверхности, к площади этого элемента.	Свод правил - 2013
Поверхностные воды	воды, постоянно или временно находящиеся в поверхностных водных объектах.	Методика, 2010
Поверхностный водоем	поверхностный водный объект, представляющий собой сосредоточение вод с замедленным водообменом в естественных или искусственных впадинах.	Методика, 2010

Поверхностный водоток	поверхностный водный объект с непрерывным движением вод.	Методика, 2010
Постоянная распада	вероятность радиоактивного распада атомного ядра определенного химического элемента и находящего в определенном энергетическом состоянии в единицу времени.	Свод правил - 2013
Почва	поверхностный плодородный слой дисперсного грунта, образованный под влиянием биогенного и атмосферного факторов.	Свод правил - 2013
Предел годового поступления (ППП)	2. поступление определенного радионуклида ингаляционным, пероральным путем или через кожу (чрескожное поступление) в течение года в организм условного человека, которое должно привести к получению ожидаемой дозы, равной соответствующему пределу дозы.	Свод правил - 2013
Предел дозы	величина годовой эффективной или эквивалентной дозы техногенного облучения, которая не должна превышать в условиях нормальной работы. Соблюдение предела годовой дозы предотвращает возникновение детерминированных эффектов, а вероятность стохастических эффектов сохраняется при этом на приемлемом уровне.	Свод правил - 2013
Предельно допустимый выброс (газообразных радиоактивных отходов)	норматив мощности выброса газообразных радиоактивных отходов, определяемый по пределу дозы излучения эффектов сохраняется при этом на приемлемом уровне.	Свод правил - 2013
Предельный сброс (ПС)	среднегодовое поступление радионуклидов во внешнюю среду с жидкими сбросами, при которой дозовая нагрузка на человека из контрольной группы населения с учётом всех путей воздействия, существующих на рассматриваемом водном объекте, равна пределу дозы для населения по НРБ, 2009/2009.	Методика, 2010
Представительная проба вещества [материала]	проба вещества (материала), которая по химическому составу и/или свойствам, и/или структуре принимается идентичной объекту наблюдения радиационного контроля или мониторинга, от которого она отобрана.	Свод правил - 2013
Прижизненное определение концентрации радионуклидов в мышечной ткани сельскохозяйственных животных	процесс определения непосредственно в хозяйстве удельной радиоактивности мышечной ткани путем измерения мощности дозы гамма-излучения в области лопатки животного.	Свод правил - 2013
Принцип нормирования (основной принцип радиационной безопасности)	непревышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения граждан от всех источников излучения.	Свод правил - 2013
Принцип обоснования (основной принцип радиационной	запрещение всех видов деятельности по использованию источников излучения, при которых полученная для человека и общества польза не превышает риск возможного вреда, причиненного дополнительным облучением.	Свод правил - 2013

безопасности)		
Принцип оптимизации (основной принцип радиационной безопасности)	поддержание на возможно низком и достижимом уровне с учетом экономических и социальных факторов индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц при использовании любого источника излучения.	Свод правил - 2013
Природная среда	совокупность компонентов природной среды, природных и природно-антропогенных объектов.	№7-ФЗ
Природно-антропогенный объект	природный объект, измененный в результате хозяйственной и иной деятельности, и (или) объект, созданный человеком, обладающий свойствами природного объекта и имеющий рекреационное и защитное значение.	№7-ФЗ
Природные ресурсы	компоненты природной среды, природные объекты и природно-антропогенные объекты, которые используются или могут быть использованы при осуществлении хозяйственной и иной деятельности в качестве источников энергии, продуктов производства и предметов потребления и имеют потребительскую ценность.	№7-ФЗ
Природный ландшафт	территория, которая не подверглась изменению в результате хозяйственной и иной деятельности и характеризуется сочетанием определенных типов рельефа местности, почв, растительности, сформированных в единых климатических условиях.	№7-ФЗ
Природный объект	естественная экологическая система, природный ландшафт и составляющие их элементы, сохранившие свои природные свойства.	№7-ФЗ
Производные уровни вмешательства	уровни вмешательства, выраженные в радиационных параметрах, которые могут быть непосредственно измерены при мониторинге радиационной обстановки. Производные уровни вмешательства при модельном пересчете с учетом характеристических особенностей конкретной аварийной ситуации соответствуют дозовому уровню вмешательства.	Свод правил - 2013
Пункт временного хранения радиоактивных отходов	пункт хранения удаляемых радиоактивных отходов, проектом которого определен срок его эксплуатации и предусмотрены порядок вывода из эксплуатации и меры по выводу его из эксплуатации.	Свод правил - 2013
Пункт захоронения радиоактивных отходов	пункт хранения радиоактивных отходов, предназначенный для размещения радиоактивных отходов без намерения их последующего извлечения и обеспечивающий радиационную безопасность работников такого пункта, населения и окружающей среды в течение периода потенциальной опасности радиоактивных отходов.	Свод правил - 2013
Пункт консервации особых радиоактивных	природный объект или объект техногенного происхождения, в которых содержатся особые радиоактивные отходы, имеются барьеры для обеспечения безопасности, изолирующие радиоактивные отходы от окружающей среды в течение определенного соответствующим проектом срока эксплуатации	Свод правил - 2013

отходов	указанных объектов.	
Пункт приповерхностног о захоронения радиоактивных отходов	пункт захоронения радиоактивных отходов, включающий в себя сооружение, размещенное на одном уровне с поверхностью земли или на глубине до ста метров от поверхности земли.	Свод правил - 2013
Пункт размещения особых радиоактивных отходов	природный объект или объект техногенного происхождения, содержащие особые радиоактивные отходы, не изолированные от окружающей среды, либо объект, содержащий особые радиоактивные отходы, срок изоляции которых от окружающей среды не установлен.	Свод правил - 2013
Путь воздействия	вид контакта с ионизирующими излучателями, при котором происходит облучение человека и/или биоты. Возможные пути воздействия радиоактивности на человека при загрязнении поверхностных вод - внешнее облучение за счёт купания, пребывания на пляже или на рыбной ловле, внутреннее облучение за счет потребления питьевой воды, рыбы, животных и растительных продуктов, загрязненных от контакта с водоемом.	Методика, 2010
Радиационная авария	потеря управления источником ионизирующего излучения, вызванная неисправностью оборудования, неправильными действиями работников (персонала), стихийными бедствиями или иными причинами, которые могли привести или привели к облучению людей выше установленных норм или к радиоактивному загрязнению окружающей среды.	Рекомендации, 2010
Радиационная безопасность населения	состояние защищенности настоящего и будущего поколений людей от вредного для их здоровья воздействия ионизирующего излучения.	№3-ФЗ
Радиационная обстановка	совокупность радиационных факторов в пространстве и во времени, способных воздействовать на функционирование (использование) объекта, вызвать облучение персонала, населения и окружающей среды.	Свод правил - 2013
Радиационно опасный объект, РОО	объект, на котором хранят, перерабатывают, используют или транспортируют радиоактивные вещества, при аварии на котором или его разрушении может произойти облучение ионизирующим излучением или радиоактивное загрязнение людей, сельскохозяйственных животных и растений, объектов народного хозяйства, а также окружающей природной среды.	ГОСТ Р 22.0.05-94
Радиационно-гигиеническая паспортизация организаций и территорий	государственная система оценки влияния основных источников ионизирующего излучения (техногенных и естественных), направленная на обеспечение радиационной безопасности населения в зависимости от состояния среды обитания и условий жизнедеятельности, сопряженная с другими системами наблюдения за ионизирующим излучением.	Рекомендации, 2010
Радиационно-гигиенический мониторинг (РГМ)	государственная система динамических наблюдений на законодательно выделенной по радиационным показателям территории за радиационной обстановкой в среде обитания человека, состоянием здоровья проживающего на выделенной территории населения, их анализа, оценки и прогноза, а также выявления возможных связей между состоянием здоровья и радиационным воздействием.	Рекомендации, 2010
Радиационное воздействие	воздействие факторов ионизирующего излучения на человека.	Рекомендации, 2013

Радиационно-опасный объект	объект, изготовляющий и (или) применяющий потенциально опасные для объекта, персонала объекта, населения и окружающей среды источники ионизирующих излучений.	Свод правил - 2013
Радиационные измерения	измерения величин и параметров, характеризующие источники (радиоактивные образцы) и поля ионизирующих излучений, а также радиационное облучение объектов (включая биологические), выполняемых по аттестованным методикам (методам) измерений и с применением средств измерений утвержденного типа, прошедших поверку.	Свод правил - 2013
Радиационные источники	не относящиеся к ядерным установкам комплексы, установки, аппараты, оборудование и изделия, в которых содержатся радиоактивные вещества или генерируется ионизирующее излучение.	Свод правил - 2013
Радиационный мониторинг	процесс наблюдений за: - состоянием радиационной обстановки и дозами облучения населения (исключая дозы облучения при оказании медицинских услуг); - организацией и проведением оперативных мероприятий в случае угрозы возникновения радиационной аварии; - реализацией федеральных программ в области обеспечения радиационной безопасности; - информированием населения о радиационной обстановке, включая государственный мониторинг радиационной обстановки и социально-гигиенический мониторинг (в части радиационно-гигиенического мониторинга среды обитания, продовольственного сырья и продуктов питания) на территории Российской Федерации.	Свод правил - 2013
Радиационный мониторинг на радиоактивно загрязненных территориях	процесс наблюдений с изменяемой периодичностью за: - состоянием радиационной обстановки и дозами облучения населения (исключая дозы облучения при оказании медицинских услуг); - состоянием радиационной обстановки и дозами облучения населения (исключая дозы облучения при оказании медицинских услуг); - реализацией мероприятий по ликвидации последствий радиационных аварий; - оказанием помощи населению, подвергшемуся облучению в результате радиационных аварий; - информированием населения о радиационной обстановке; - условиями жизнедеятельности населения на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению; - соблюдением особых режимов проживания (пребывания) населения на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению, включая государственный мониторинг окружающей среды и социально-гигиенический мониторинг на радиоактивно загрязненных территориях.	Свод правил - 2013
Радиационный фон	исторически сложившийся, характерный для функциональных зон, зон с особыми условиями использования территорий и природных ландшафтов, уровень поглощенной энергии ионизирующих излучений (дозы), инициируемых космическим излучением, излучением от природных и техногенных радионуклидов, естественно распределенных в земле, воде, воздухе, других элементах биосферы, пищевых продуктах и организме человека. Примечание: Радиационный фон является результатом измерения физической величины и, как правило, в зависимости от инструментальных средств измерения определяется в единицах мощности дозы облучения (экспозиционной дозы облучения, амбиентного эквивалента дозы облучения и т.д.) на высоте 1 метр	Свод правил - 2013



	над уровнем земли (поверхности).	
Радиоактивно загрязненная территория	участок территории, представляющий опасность для здоровья населения и для окружающей природной среды, подлежащий реабилитации после радиоактивного загрязнения в результате техногенной деятельности или размещения на данном участке территорий снятых с эксплуатации особо радиационно опасных объектов.	Рекомендации, 2013
Радиоактивность	самопроизвольное превращение (распад) атомных ядер, приводящее к изменению их атомного номера или массового числа. К явлению радиоактивности также относят изменения энергетического состояния ядер, сопровождающиеся гамма-излучением. Радиоактивные превращения протекают с изменением строения, состава и энергетического состояния ядра и сопровождаются испусканием или захватом заряженных частиц и выделением коротковолнового излучения электромагнитной природы (гамма-излучение).	Свод правил - 2013
Радиоактивные вещества	не относящиеся к ядерным материалам вещества, испускающие ионизирующее излучение.	Свод правил - 2013
Радиоактивные отходы	не подлежащие дальнейшему использованию материалы и вещества, а также оборудование, изделия (в том числе отработавшие источники ионизирующего излучения), содержание радионуклидов в которых превышает уровни, установленные в соответствии с критериями, установленными Правительством Российской Федерации.	Свод правил - 2013
Радиоэкологическое обследование территории	экспериментальное исследование распределения радионуклидов в компонентах природной среды.	Рекомендации, 2013
Район расположения РОО	территория вокруг РОО, включающая зону наблюдения и контрольный участок.	Рекомендации, 2013
Реестр радиоактивных отходов	систематизированный свод документированных сведений о радиоактивных отходах, полученных в результате первичной регистрации радиоактивных отходов и мест их размещения, а также о радиоактивных отходах, переданных национальному оператору.	Свод правил - 2013
Режим радиоактивно загрязненных территорий (режим территорий)	комплекс организационных, технических, научно-исследовательских, социальных и информационных мероприятий, направленных на снижение рисков необоснованного радиационного облучения, обусловленного радиоактивным загрязнением территорий, и создание условий безопасной жизнедеятельности населения.	Свод правил - 2013
Результат радиационного контроля	значение контролируемого для объекта радиационного контроля параметра, определенное по результатам измерений в соответствии с принятой методикой радиационного контроля с оценкой неопределенности контроля.	Свод правил - 2013
Референтный (условный) индивид	идеализированная модель человека с характеристиками, определенными Международной комиссией по радиологической защите для целей радиационной защиты.	Глоссарий МАГАТЭ 2007

Референтный вид (референтное животное или растение)	гипотетический объект, имеющий базовые характеристики животного или растения определённого типа, описываемого согласно таксономическому уровню «семейство», с определёнными анатомическими, физиологическими и поведенческими характеристиками, используемыми в целях перехода от радиационного воздействия к дозе, а от дозы – к эффекту для данного типа живых организмов.	Публикация 103 МКРЗ
Риск	сочетание вероятности события и его последствий.	Свод правил - 2013
Риск приемлемый	уровень риска развития неблагоприятного эффекта, который не требует принятия дополнительных мер по его снижению, и оцениваемый как незначительный по отношению к рискам, существующим в повседневной деятельности и жизни человека.	Методика, 2010
Риск радиационный	вероятность возникновения у человека или его потомства какого-либо вредного эффекта в результате облучения.	НРБ, 2009
Риск радиационный приемлемый	уровень радиационного риска, который не требует принятия дополнительных мер по его снижению, и оцениваемый как незначительный по отношению к радиационным рискам, существующим в повседневной деятельности и жизни человека.	Рекомендации, 2013
Санитарно-защитная зона	территория вокруг источника ионизирующего излучения, на который уровень облучения людей в условиях нормальной эксплуатации данного источника может превысить установленный предел дозы облучения для населения. В санитарно-защитной зоне запрещается постоянное и временное проживание людей, вводится режим ограничения хозяйственной деятельности и проводится радиационный контроль.	Свод правил - 2013
Санитарно-эпидемиологическая обстановка	состояние здоровья населения и среды обитания на определенной территории в конкретно указанное время.	Свод правил - 2013
Санитарно-эпидемиологическое благополучие населения	состояние здоровья населения, среды обитания человека, при котором отсутствует вредное воздействие факторов среды обитания на человека и обеспечиваются благоприятные условия его жизнедеятельности.	Свод правил - 2013
Санитарный радиологический контроль (СРК)	мероприятие в системе государственного санитарного надзора, заключающееся в проверке органами санитарно-эпидемиологической службы соблюдения норм и правил в области радиационной безопасности ведомствами, предприятиями, учреждениями и отдельными физическими и юридическими лицами.	Рекомендации, 2010
Сброс	удаление радиоактивных веществ непосредственно со сточными водами предприятия-заявителя в поверхностные воды водного объекта.	Методика, 2010
Система менеджмента риска	набор элементов системы менеджмента организации в отношении менеджмента риска. Примечание - Элементы системы менеджмента риска могут включать в себя стратегическое планирование, принятие решений и другие процессы, затрагивающие риск.	ГОСТ Р 51897-2002
Система радиационного мониторинга	совокупность систем наблюдений, в том числе с использованием средств измерений, технических систем и устройств с измерительными функциями, и информационных ресурсов, применяемых в целях обеспечения радиационной безопасности населения. Примечание: Система радиационного мониторинга	Свод правил - 2013

	является неотъемлемым элементом наблюдательных сетей и информационных ресурсов Единой системы государственного экологического мониторинга и Единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций.	
Скрининговый уровень (уровень экранирования)	установленная граница учета и влияния тех факторов, которые при первичном анализе не приводят к неприемлемо высокому уровню экологического риска. Примечание - Оценка риска на скрининговом уровне представляет собой упрощенный способ оценки риска, как правило, проводимой при наличии приблизительно определенных значений параметров, для которых достоверные данные отсутствуют.	ГОСТ Р 14.09-2005
Слой половинного ослабления	толщина слоя вещества, ослабляющего направленное ионизирующее излучение в два раза.	Свод правил - 2013
Снижение риска	действия, предпринятые для уменьшения вероятности, негативных последствий или того и другого вместе, связанных с риском.	ГОСТ Р 51897-2002
Социально-гигиенический мониторинг	государственная система наблюдений за состоянием здоровья населения и среды обитания, их анализа, оценки и прогноза, а также определения причинно-следственных связей между состоянием здоровья населения и воздействием факторов среды обитания.	Свод правил - 2013
Среда обитания человека (среда обитания)	совокупность объектов, явлений и факторов окружающей (природной и искусственной) среды, определяющая условия жизнедеятельности человека.	Свод правил - 2013
Средняя годовая эффективная доза облучения, СГЭД	оценка эффективной дозы облучения типичного (среднего) жителя населенного пункта, формируемой в течение одного календарного года за счет внешнего облучения, обусловленного радиоактивным загрязнением территории при условии постоянного проживания и неизменности характерного для данного населенного пункта образа жизни, и внутреннего облучения, обусловленного поступлением в организм человека радионуклидов из состава радиоактивного загрязнения при условии постоянного потребления характерного для данной местности стандартного (условного) рациона питания, состав и количество которого определяется в соответствии с методикой, аттестованной в установленном порядке.	Свод правил - 2013
Стандартный (условный) рацион питания	состав и количество продуктов питания, наиболее часто употребляемых определенными (по полу, возрасту, роду занятий, месту жительства, национальному и/или религиозному укладу жизни) группами населения.	Свод правил - 2013
Стандартный шар МКРЕ	сфера диаметром 30 см, изготовленная из тканеэквивалентного материала с плотностью 1 г/см <sup>3</sup> и массовым составом 76,2% кислорода, 11,1% углерода, 10,1% водорода и 2,6% азота.	Свод правил - 2013
Суммарная активность радионуклидов	сумма парциальных активностей радионуклидов в радионуклидном источнике ионизирующего излучения или в радиоактивном образце.	Свод правил - 2013
Территории, прилегающие к особо радиационно опасным и ядерно	территории, находящиеся в пределах границ зон наблюдения, определяемых в соответствии со статьей 31 Федерального закона «Об использовании атомной энергии», при этом границы зон наблюдения особо радиационно опасных и ядерно опасных объектов Министерства обороны Российской Федерации, на	Свод правил - 2013

опасным производствам и объектам	которых осуществляется эксплуатация ядерного оружия, устанавливаются в пределах границ этих объектов.	
Территория радиоактивного загрязнения	совокупность подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие радиационной аварии земель и водных объектов, на (в) которых на заданный момент времени содержание долгоживущих техногенных радионуклидов статистически значимо превышает их фоновое содержание.	Свод правил - 2013
Техногенно измененный радиационный фон	естественный радиационный фон, измененный в результате деятельности человека.	Свод правил - 2013
Тканезквивалентное вещество (материал)	материал, содержащий по массе 10% – водорода, 23,1% – углерода, 2,6% – азота, 61,3% – кислорода, 1,1% – фосфора, 0,2% – серы, 0,2% – калия и 1,4% – кальция.	Свод правил - 2013
Толерантный интервал	интервал, построенный по случайной выборке из общей совокупности таким образом, что он с заранее выбранной вероятностью содержит не менее заданной доли совокупности.	Рекомендации, 2013
Точка контрольная	участок объекта окружающей среды (на территории, водоеме и т.п.) на которые распространяется влияние техногенных источников и где производится радиационный контроль.	Рекомендации, 2010
Точка контрольная фоновая	участок объекта окружающей среды (на территории, водоеме и т.п.) на который не распространяется влияние техногенных источников и где производится радиационный контроль с целью идентификации степени влияния и динамики техногенных источников на контрольных территориях.	Рекомендации, 2010
Требования в области охраны окружающей среды (природоохранные требования)	предъявляемые к хозяйственной и иной деятельности обязательные условия, ограничения или их совокупность, установленные законами, иными нормативными правовыми актами, природоохранными нормативами и иными нормативными документами в области охраны окружающей среды.	Свод правил - 2013
Трофический уровень	элемент функциональной классификации организмов в пределах сообщества, в основе которой лежат применяемые продукты питания.	ГОСТ Р 14.09-2005
Удаляемые радиоактивные отходы	радиоактивные отходы, для которых риски, связанные с радиационным воздействием, иные риски, а также затраты, связанные с извлечением таких радиоактивных отходов из пункта хранения радиоактивных отходов, последующим обращением с ними, в том числе захоронением, не превышают риски и затраты, связанные с захоронением таких радиоактивных отходов в месте их нахождения.	Свод правил - 2013
Управление риском	действия, осуществляемые для выполнения решений в рамках менеджмента риска. Примечание - Управление риском может включать в себя мониторинг, переоценивание и действия, направленные на обеспечение соответствия принятым решениям.	ГОСТ Р 51897-2002
Уровень вмешательства (УВ)	уровень радиационного фактора, при превышении которого следует проводить определенные защитные мероприятия.	НРБ, 2009

Уровень контрольный	значение контролируемой величины дозы, мощности дозы, радиоактивного загрязнения и т. д., устанавливаемое для оперативного радиационного контроля с целью закрепления достигнутого уровня радиационной безопасности, обеспечения дальнейшего снижения облучения персонала населения, радиоактивного загрязнения окружающей среды.	НРБ, 2009
Фактор биоаккумуляции; ФБА	отношение концентрации загрязнения в организме, который может поглотить загрязнение при прямом контакте или через продукты питания, к его концентрации в окружающей среде, находящейся в устойчивом состоянии. Примечание - ФБА представляет собой отношение содержания загрязнения в организме к его концентрации в окружающей среде в стационарных условиях, при которых организм может аккумулировать загрязнение как путем потребления пищи, так и путем прямого контакта.	ГОСТ Р 14.09-2005
Фактор разбавления	отношение удельной активности радионуклида в воде некоторой точки водной системы к активности этого радионуклида, поступающего в водную систему с жидкими сбросами за год.	Методика, 2010
Факторы среды обитания	биологические (вирусные, бактериальные, паразитарные и иные), химические, физические (шум, вибрация, ультразвук, инфразвук, тепловые, ионизирующие, неионизирующие и иные излучения), социальные (питание, водоснабжение, условия быта, труда, отдыха) и иные факторы среды обитания, которые оказывают или могут оказывать воздействие на человека и (или) на состояние здоровья будущих поколений.	Свод правил - 2013
Фон ионизирующего излучения	ионизирующее излучение, состоящее из естественного фона и ионизирующих излучений от радионуклидов техногенного происхождения.	Свод правил - 2013
Фоновое содержание техногенных радионуклидов	исторически сложившийся, характерный для функциональных зон, зон с особыми условиями использования территорий и природных ландшафтов, уровень содержания (в единицах удельной или объемной активности, плотности радиоактивного загрязнения и т.д.) техногенных радионуклидов в атмосфере, почве или в (на) объектах окружающей среды, обусловленный: - глобальными выпадениями радионуклидов вследствие ядерных испытаний, радиационных аварий и катастроф прошлых лет; - региональным загрязнением вследствие нормативно допустимых выбросов/сбросов радионуклидов предприятиями, использующими источники ионизирующего излучения.	Свод правил - 2013
Хвосты	остатки, образующиеся от обработки руды, осуществляемой с целью извлечения радионуклидов уранового ряда или ториевого ряда, или аналогичные остатки от обработки руд для других целей.	Свод правил - 2013
Хозяйственный ареал населенного пункта	земли различного назначения, в том числе земли сельскохозяйственного назначения, лесного и водного фонда, пользование которыми является неотъемлемым элементом сложившегося (характерного) уклада жизни жителей населенного пункта.	Свод правил - 2013
Эвакуация	неотложное, временное перемещение людей с территории с целью предотвратить или уменьшить краткосрочное радиационное облучение в случае аварийной ситуации.	Свод правил - 2013
Экологическая безопасность	состояние защищенности природной среды и жизненно важных интересов человека от возможного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайных ситуаций	№7-ФЗ

	природного и техногенного характера, их последствий.	
Экологический аудит	независимая, комплексная, документированная оценка соблюдения субъектом хозяйственной и иной деятельности требований, в том числе нормативов и нормативных документов, в области охраны окружающей среды, требований международных стандартов и подготовка рекомендаций по улучшению такой деятельности.	№7-ФЗ
Экологический риск	вероятность наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для природной среды и вызванного негативным воздействием хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера.	№7-ФЗ
Экосистема	любое сообщество живых существ и среда их обитания, связанные в единое функциональное целое на основе взаимозависимости и причинно-следственных связей. Примечание - Экосистема представляет собой биотическое сообщество и окружающую среду в пределах пространства и времени, включая химические, физические и биологические отношения между биотическими компонентами и компонентами окружающей среды.	ГОСТ Р 14.09-2005
Экотоксикология	область науки, изучающая токсическое воздействие ядов на природные организмы и сообщества.	ГОСТ Р 14.09-2005
Экспозиционная доза	отношение суммарного электрического заряда всех ионов одного знака, образующегося в воздухе под воздействием рентгеновского излучения или гамма-излучения, при полном торможении в воздухе всех электронов, высвобожденных фотонами в соответствующем малом единичном объеме воздуха, к массе воздуха в этом единичном объеме воздуха, к массе воздуха в этом единичном объеме.	Свод правил - 2013
Эталонный участок	относительно незагрязненный участок, используемый для сравнения с загрязненными участками при исследованиях или мониторинге окружающей среды.	ГОСТ Р 14.09-2005
Эффективная доза	величина воздействия ионизирующего излучения, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения организма человека и отдельных его органов с учетом их радиочувствительности.	Свод правил - 2013
Эффекты излучения детерминированные	клинически выявляемые вредные биологические эффекты, вызванные ионизирующим излучением, в отношении которых предполагается существование порога, ниже которого эффект отсутствует, а выше – тяжесть эффекта зависит от дозы.	Свод правил - 2013
Эффекты излучения стохастические	вредные биологические эффекты, вызванные ионизирующим излучением, не имеющие дозового порога возникновения, вероятность возникновения которых пропорциональна дозе и для которых тяжесть проявления не зависит от дозы.	Свод правил - 2013
Ядерные установки	сооружения и комплексы с ядерными реакторами, в том числе атомные станции, суда и другие плавсредства, космические и летательные аппараты, другие транспортные и транспортабельные средства; сооружения и комплексы с промышленными, экспериментальными и исследовательскими ядерными реакторами, критическими и подкритическими ядерными стендами; сооружения, комплексы, полигоны, установки и устройства с	Свод правил - 2013

ядерными зарядами для использования в мирных целях; другие содержащие ядерные материалы сооружения, комплексы, установки для производства, использования, переработки, транспортирования ядерного топлива и ядерных материалов.

### Список использованных в приложениях источников

- 1 Air pollution modeling and its application XII. Sven-Erik Gryning, Nadine Chaumerliac, North Atlantic Treaty Organization. Committee on the Challenges of Modern Society, 1998.
- 2 Beck H.L. Exposure vate conversion factors for radionuclides deposited on the ground. EHL-378, 1980.
- 3 Briggs G.A. Plume Rise, AEC Critical Review Series, TID-25075, 1969.
- 4 Eckerman K.F., Kerr G.D. Organ doses from isotropic and cloud sources of gamma rays. // Health Physics. 1980. Vol. 39, N6.
- 5 EPA-402-R-93-081 External exposure to radionuclides in air, water, and soil. Federal guidance report № 12.- EPA-402-R-93-081. – Washington DC, 1993.
- 6 ERICA Assessment Tool Version 1.2. URL <http://www.ERICA-tool.eu/ERICA/download/>.
- 7 FASSET Deliverable 3. Dosimetric models and data for assessing radiation exposure to biota. Framework for the Assessment of Environmental Impact, Contract N° FIGE-CT-2000-00102. Edited by Pröhl G., JSF. Swedish Radiation Protection Authority, June 2003. – P.103.
- 8 Generic Models for use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment/ Safety Reports.- Series № 19.-Vienna: IAEA, 2000.
- 9 GENII Version 2. Software Design Document. Pacific Northwest National Laboratory/ B.A. Napier, P.W. Eslinger, D.K. Streng, C. Fosmire, J.V. Ramsdell Jr. – November 2004.
- 10 Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments/ Technical Reports. - Series № 472.-Vienna: IAEA, 2010.
- 11 IAEA 1986. Atmospheric Dispersion Models for Application in Relation to Radionuclide Releases. IAEA-TECDOC-379. Vienna, 1986. – 138 p.
- 12 IAEA. Sediment Distribution Coefficients and Concentration Factors for Radionuclides for Biota in the Marine Environment, Technical Reports Series No.422, Vienna, 2004. – 103 p.
- 13 ICRP 1977. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection// ICRP Publication 26.- Annals of the ICRP 1(3).- New York Pergamon Press, 1977.
- 14 ICRP 1991. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection// ICRP Publication 60.- Annals of the ICRP 21(1-3).- New York Pergamon Press, 1991.
- 15 ICRP 2007. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (Users Edition). ICRP Publication 103 (Users Edition). Ann. ICRP 37 (2-4).
- 16 ICRP 2008. Publication 108. Environmental Protection: the Concept and Use of Reference Animals and Plants. Annals of the ICRP, 2008. – P.251.
- 17 ICRP 2012. Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60. ICRP Publication 119. Ann. ICRP 41(Suppl.), 2012.
- 18 Kocher D.C. Dose-rate conversion factors for external exposure to photon and electrons. // Health Physics. 1983. Vol. 45, N3. P.665-686.
- 19 NUREG/CR-7166 Radiological Toolbox User's Guide.- Office of Nuclear Regulatory Research, 2013.
- 20 Ulanovsky A., Pröhl G. Tables of dose conversion coefficients for estimating internal and external radiation exposures to terrestrial and aquatic biota. Radiation and Environmental Biophysics, 2008. – Vol. 47 (2). – P.195 - 203.
- 21 Ulanovsky A., Prohl G., Gomez-Ros J.M. Methods for calculating dose conversion coefficients for assessing radiation exposures of terrestrial and aquatic biota // J. Environ. Radioact. 2008. V. 99. P. 1440 - 1448.

- 22 Глоссарий МАГАТЭ по вопросам безопасности. Терминология, используемая в области ядерной безопасности и радиационной защиты. Издание 2007 года. Международное агентство по атомной энергии. Вена, 2008.
- 23 ГОСТ Р 14.09-2005. Группа Т59. Национальный Стандарт Российской Федерации. Экологический менеджмент. Руководство по оценке риска в области экологического менеджмента. Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 декабря 2005 г. № 526-ст.
- 24 ГОСТ Р 22.0.05-94 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные чрезвычайные ситуации. Термины и определения.
- 25 ГОСТ Р 51897-2002. Менеджмент риска. Термины и определения. Москва, 2002.
- 26 Гусев Н.Г., Беляев В.А. Радиоактивные выбросы в биосфере; 2-е издание, переработанное и дополненное. — Москва: Энергоатомиздат, 1991.
- 27 Методика исчисления размера вреда, причиненного объектам животного мира, занесенным в Красную книгу Российской Федерации, а также иным объектам животного мира, не относящимся к объектам охоты и рыболовства и среде их обитания. – М., МПР РФ, 2008. – 21 с.
- 28 Методика разработки нормативов допустимых сбросов радиоактивных веществ в водные объекты (ДС-2010). Проект. Москва, 2010.
- 29 МТ 1.2.5.05.0161-2013 «Методика расчета предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ с атомных станций в атмосферу (ПДВ АС-2013), утвержденные первым заместителем Генерального директора ОАО «Концерн Росэнергоатом» В.Г. Асмоловым.
- 30 НРБ-99/2009. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009.
- 31 Постановление Правительства Российской Федерации от 25 мая 1994 г. № 515. Об утверждении такс для исчисления размера взыскания за ущерб, причиненный уничтожением, незаконным выловом или добычей водных биологических ресурсов (в ред. Постановлений Правительства Российской Федерации от 26.09.2000 № 724; от 10.03.2009 № 219). — 3 с.
- 32 Постановление Правительства РФ от 8 мая 2007 г. № 273. Об исчислении размера вреда, причиненного лесам вследствие нарушения Лесного законодательства (в ред. Постановления Правительства РФ от 26.11.2007 № 806). М., 2007. — 13 с.
- 33 Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации (Минприроды России) от 8 декабря 2011 г. N 948 г. Москва «Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного охотничьим ресурсам». — 3 с.
- 34 Приказ Минсельхоза Российской Федерации от 02.08.2010 г. № 271 «Об утверждении Перечня видов (пород) деревьев и кустарников, заготовка древесины которых не допускается».
- 35 Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации (Минприроды России) от 28 апреля 2008 г. N 107 «Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного объектам животного мира, занесенным в Красную книгу Российской Федерации, а также иным объектам животного мира, не относящимся к объектам охоты и рыболовства и среде их обитания» (с изменениями и дополнениями от 12.12.2012). — 21 с.
- 36 Распоряжение № 1316-р «Перечень загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды». Утв. Председателем Правительства Российской Федерации Д. Медведевым 8 июля 2015 г.
- 37 Реймерс Н.Ф. Природопользование: Словарь-справочник. - М.: Мысль, 1990.- 637 с.
- 38 Рекомендации по оптимизации радиационно-гигиенического мониторинга и санитарного радиологического контроля на радиоактивно загрязненных территориях России и Беларуси. Роспотребнадзор, Министерство здравоохранения Республики Беларусь, Москва, 2010.
- 39 Рекомендации Р 52.18.787—2013. Методика оценки радиационных рисков на основе данных мониторинга радиационной обстановки. Обнинск, ФГБУ ВНИИГМИ – МЦД, 2013.



- 40 Росрыболовство. Методика исчисления размера вреда, причиненного водным биологическим ресурсам. Приложение к приказу Росрыболовства от 25.11.2011 г. № 1166. М., 2011. — 69 с.
- 41 Руководство по установлению допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферу ДВ-98, т.3. Технические предложения, рекомендованные для расчетов. МПР России. М., 2000. Переработанные в соответствии с требованиями НРБ, 2009 Приложения П5, П7 и П8 Руководства ДВ-98, 1999 г.
- 42 СанПиН 2.3.2.1078-01 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов», утвержденные Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 06.11.2001 (зарегистрированы в Министерстве юстиции Российской Федерации 22 марта 2002 г., регистрационный № 3326).
- 43 Свод правил. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Радиационный контроль и мониторинг на радиоактивно загрязненных территориях. Термины и определения. МЧС России. Москва, 2013.
- 44 СП 2.6.1.2216-07 «Санитарно-защитные зоны и зоны наблюдения радиационных объектов. Условия эксплуатации и обоснование границ». Утв. постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 29.05.2007 № 30 (зарегистрированы Министерством юстиции Российской Федерации 27 июня 2007 г., регистрационный № 9727).
- 45 Таксы для исчисления размера вреда, причиненного объектам растительного мира, занесенным в Красную книгу Российской Федерации, и среде их обитания вследствие нарушения законодательства в области охраны окружающей среды и природопользования. Утверждены Приказом Минприроды России от 1 августа 2011 г. N 658. М., 2011. — 3 с.
- 46 Федеральный закон от 9 января 1996 г. № 3 “О радиационной безопасности населения”.
- 47 Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7 “Об охране окружающей среды”.
- 48 Федеральный закон от 20.12.2004 г. № 166-ФЗ «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов».





Подписано в печать 25.11.2015.  
Формат 60 x 90 1/4. Гарнитура Times.  
Бумага офсетная. Печать цифровая.  
Тираж 130 экз. Заказ 56938

Отпечатано в типографии Onebook.ru  
ООО «Сам Полиграфист»  
129090, г. Москва, Протопоповский переулок д.6  
Тел.: +7 495 545-37-10  
E-mail: [info@onebook.ru](mailto:info@onebook.ru)  
Сайт: [www.onebook.ru](http://www.onebook.ru)