
**ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

УДК: 614.876. (83)

**ВОПРОСЫ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
В РЕСПУБЛИКЕ ЧИЛИ**

© 2018 О.Ф. Яньес Кинтанилья, А.И. Ксенофонов

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

Цель работы – установить методологию и критерии определения безопасных расстояний для эвакуации в случае возникновения чрезвычайных ситуаций, связанных с радиоактивным или ядерным материалом. Текущая радиологическая/ядерная ситуация в Республике Чили взята за основу, однако, представленные здесь результаты позволяют адаптировать их к реальному радиологическому контексту, существующему в любой стране.

Ключевые слова: мощность дозы внешнего облучения, ионизирующее излучение, радиоактивное загрязнение окружающей среды, безопасные расстояния от источника радиации.

Поступила в редакцию: 12.07.2018

ВВЕДЕНИЕ

В Чили в настоящее время существуют около 8000 радиоактивных источников по всей стране, и почти 500 установок, в которых используется высокоактивный радиоактивный материал. Эти источники приносят неоценимую пользу обществу, так как служат для диагностики, медицинского лечения, стерилизации медицинских материалов, для целей промышленного инструментария, который используется, в частности, в горнодобывающих и нефтяных компаниях, а также находят много других применений.

Несмотря на то, что выгода от использования этих радиоактивных источников намного больше, чем опасность, которую они могут представлять, важнейшей обязанностью государственных служб является готовность надлежащим образом, скоординировано и эффективно, реагировать на любую ситуацию, когда эти источники могут представлять опасность для людей или окружающей среды.

Мировой опыт в отношении аварий с радиоактивным материалом, показал, что роль первых ответчиков¹ часто недооценивается, хотя в их обязанности входит правильно распознать чрезвычайную ситуацию и, следовательно, принять срочные превентивные меры, чтобы таким образом свести к минимуму последствия аварии. В некоторых случаях, произошедших в разных странах мира, первый ответчик тратил от нескольких часов до нескольких дней до начала аварийного реагирования, и, что еще хуже, ему требовалось много времени для принятия срочных мер, которые должны были быть предприняты незамедлительно, а во многих случаях просто не предпринималось вообще никаких действий [1], [2], [3]. Это приводило к

¹ Первый ответчик – ответственное лицо/лица, прибывшее первым при чрезвычайной ситуации (пожарные, бригада скорой помощи, представители администрации и др.)

распространению и росту аварийной ситуации, числу пораженных людей и области загрязнения, а также росту затраченных ресурсов, связанных с аварийной ситуацией. Коммуникативные и психологические последствия были бы намного меньше благодаря быстрой реакции и правильному применению начальных контрмер.

В рамках первоначальных мер [4], [5], [6], которые должны быть приняты первым ответчиком, есть одна, которая имеет наибольшее значение для защиты здоровья и жизни людей. Эта мера соответствует установлению периметров безопасности вокруг радиоактивного источника. Выбор этих расстояний на практике является компромиссом: они должны быть достаточными для адекватной защиты от радиации и одновременно быть небольшими, чтобы как можно меньше нарушать повседневную жизнь людей. Так, например, в Чили были случаи обнаружения радиоактивных источников на дорогах общего пользования, вне регулирующего контроля и в непосредственной близости от школы. Эта находка была сделана первым ответчиком (полицией), которая, правильно следуя международным нормам [6], касающимся установления безопасных расстояний, полностью эвакуировали людей из соседней школы с последующим психологическим воздействием на эвакуированных. Повышенное внимание региональных СМИ, а затем и общественного мнения граждан послужило росту ненужного страха перед использованием радиоактивных источников. Затем подробный анализ происшествия показал, что этот источник даже с учетом выхода его из защитной оболочки не представлял никакой угрозы на расстоянии более 10 м. Такие случаи не являются обособленными, а поэтому необходимо адаптировать расстояния безопасности в соответствии с фактическим наличием радиоактивных источников в каждой стране.

КРИТЕРИИ БЕЗОПАСНОСТИ

В данной работе мы предлагаем установить два периметра безопасности для случая чрезвычайных ситуаций с радиоактивными источниками. Назовем один периметр периметром безопасности, а второй – критическим периметром безопасности (рис. 1). Концептуальное определение таких периметров определяется следующим:



Рисунок 1 – Определение опасных зон вокруг источника излучений
[Identification of hazardous areas around radiation source]

Критический периметр безопасности окружает зону, в пределах которой можно подвергнуться серии *детерминированных последствий* облучения для здоровья людей, находящихся внутри нее. Официальные сотрудники, такие как пожарные, полиция, эксперты по радиации, жертвы или любое другое лицо в пределах этой зоны, могут подвергаться облучению радиацией и/или заражению всего организма, либо

определенных областей тела, кожи, дыхательных путей, пищеварительного тракта на уровнях, которые могут стать фатальными. Также в пределах этой зоны при некоторых обстоятельствах может произойти взрыв с рассеиванием радиоактивного вещества в окружающую среду.

В случаях взрывов рассматриваются не только случаи, когда это может происходить с обычными материалами, например, с газом, но и злонамеренное использование взрывчатых веществ, таких как тротил или устройств, предназначенных исключительно для рассеивания радиоактивного вещества в террористических целях, как это происходит с устройствами радиационного рассеяния (УРР).

Периметр безопасности предотвращает дозы, которые могут привести к росту *стохастических эффектов* облучения людей, находящихся в зоне между периметром критической безопасности и данным периметром. В случае взрывчатых веществ принимаются во внимание также последствия теплового воздействия и действие осколков, которые могут возникнуть, например, в результате детонации.

Показанный на рисунке 1 периметр сохранности соответствует периметру физической защиты, то есть периметру, который защищает население от действий, осуществляемых властями для контроля над аварийной ситуацией: обеспечение областей маневрирования, хранение зараженных материалов, морг, зона дезактивации, зона регистрации и т.д.

МЕТОДИКА ВЫЧИСЛЕНИЙ

Рассмотрим получение реальных расстояний безопасности, следуя следующим представленным пунктам:

А. Опасные источники радиации

Во-первых, необходимо определить различные уровни опасности существующих источников в стране. С этой целью Международным агентством по атомной энергии совместно с Международной комиссией по радиационной защите разработана обширная методология, позволяющая регулировать опасность всех существующих радиоактивных источников [7], [8]. В настоящей работе использованы результаты этих исследований с целью составить классификацию опасности существующих в стране источников.

Ключевой переменной для определения степени опасности радиоактивного источника является использование так называемых значений величины « D ». Величина D определяется как [7] количество радиоактивного материала, которое, если оно не находится под контролем, может привести к гибели лица, подвергшегося облучению, или к непоправимой травме, ухудшающей его качество жизни.

В свою очередь величина D подразделяется на активность (D_1) радионуклида из недисперсного (закрытого) и активность (D_2) из рассеиваемого (открытого) источника, которые по своим величинам в случае чрезвычайной ситуации могут генерировать детерминированные эффекты, опасные для здоровья человека. Сама величина D определяется как минимум (D_1, D_2) для каждого радионуклида.

В отношении всех радиоактивных источников рассчитываются величины:

$$\frac{A}{D_1} = \sum_i \frac{A_i}{D_{1,i}}; \quad (1)$$

$$\frac{A}{D_2} = \sum_i \frac{A_i}{D_{2,i}}, \quad (2)$$

где A_i – активность в ТБк радиоактивного источника i ,

$D_{1,i}, D_{2,i}$ – значения D_1 и D_2 которых можно найти в работах [7] для каждого радиоактивного источника i , как для закрытых, так и для открытых источников соответственно.

Тогда наибольшая величина коэффициента $\frac{A}{D}$ показывает больший уровень опасности соответствующего радиоактивного источника.

В таблице 1 показаны уровни опасности радиоактивных источников, используемых в Республике Чили, откуда следует, что наиболее опасными источниками являются источники радиотерапии и менее опасные – в диагностической медицине и находящиеся в детекторах дыма. Эти данные определяют значения безопасного расстояния для нахождения периметра для определенного источника, поэтому данное расстояние достаточно и для других источников с меньшей или равной степенью опасности.

Таблица 1 – Радиоактивные источники, используемые в Республике Чили [Radioactive sources used in the Republic of Chile]

Радиоактивные источники, используемые в промышленности						
Практика	Радионуклид	Типичная активность	D_1 [ТБк]	D_2 [ТБк]	D [ТБк]	A/D
Промышленная радиография	Ir-192	5 ТБк	8,0E-02	2,0E+01	8,0E-02	62,5
	Co-60	5 ТБк	3,0E-02	3,0E+01	3,0E-02	166,6
Зонд	Cs-137	100 ГБк	1,0E-01	2,0E+01	1,0E-01	1,0
	Am-241/Be	800 ГБк	6,0E-02	8,0	6,0E-02	13,3
Детектор дыма	Am-241	3 МБк	6,0E-02	8,0	6,0E-02	5,0E-05
Ареометр	Am-241/Be	2 ГБк	6,0E-02	8,0	6,0E-02	3,3E-05
	Cs-137	400 МБк	1,0E-01	2,0E+01	1,0E-01	4,0E-03
	Cf-252	3 ГБк	2,0E-02	1,0E-01	2,0E-02	0,2
Уровнемеры	Cs-137	20 ГБк	1,0E-01	2,0E+01	1,0E-01	0,2
	Co-60	10 ГБк	3,0E-02	3,0E+01	3,0E-02	0,3
	Am-241	4 ГБк	6,0E-02	8,0	6,0E-02	0,1
Радиоактивные источники, используемые в медицине						
Телетерапия	Co-60	1000 ТБк	3,0E-02	3,0E+01	3,0E-02	3,3E+04
	Cs-137	500 ТБк	1,0E-01	2,0E+01	1,0E-01	5000,0
Автоматическая брахитерапия	Co-60	10 ГБк	3,0E-02	3,0E+01	3,0E-02	0,3
	Cs-137	10 МБк	1,0E-01	2,0E+01	1,0E-01	1,0E-4
	Ir-192	400 ГБк	8,0E-02	2,0E+01	8,0E-02	5,0
Ручная брахитерапия	Cs-137	500 МБк	1,0E-01	2,0E+01	1,0E-01	5,0E-03
	Ra-226	300 МБк	4,0E-02	7,0E-02	4,0E-02	7,5E-03
	Co-60	500 МБк	3,0E-02	3,0E+01	3,0E-02	1,6E-02
	Sr-90	1500 МБк	1,0	4,0	1,0	1,5E-03
	Pd-103	1500 МБк	9,0E+01	1,0E+02	9,0E+01	1,6E-05
	I-125	1500 МБк	1,0E+1	2,0E-01	2,0E-01	7,5E-03
	Ir-192	1500 МБк	8,0E-02	2,0E+01	8,0E-02	1,9E-02
Cf-252	1500 МБк	2,0E-02	1,0E-01	2,0E-02	7,5E-02	
ПЭТ	F-18	500 МБк	6,0E-02	3,0E+01	6,0E-02	0,008
Диагностическая медицина	Tc-99m	1 ГБк	7,0E-01	7,0E+02	7,0E-01	0,001
	I-131	10 ГБк	2,0E-01	2,0E-01	2,0E-01	0,005

В. Периметры безопасности для закрытых источников

В случае закрытых источников уровни значений доз (ОБЭ-взвешенная доза, AD_T [10]) вмешательства для обеспечения радиационной критической безопасности являются следующими:

- $AD_{\text{Туловище}}$: 1,0 [Гр-экв]; относится облучение органов красного костного мозга, легких, тонкого кишечника, гонад, щитовидной железы, глаз.
- $AD_{\text{Плод}}$: 0,1 [Гр-экв]; для беременных женщин.
- $AD_{\text{Ткань}}$: 0,1 [Гр-экв]; для 0,5 см глубины, обычно как следствие взятия в руки радиоактивного источника или помещения его в карман.
- $AD_{\text{Ткань}}$: 10 [Гр-экв]; на площади 600 см².

В дальнейшем будем использовать величину дозы для туловища при моделировании существующих радиоактивных источников в Республике Чили и для расчета уровней облучения, которое оказывает каждый источник.

Время, в течение которого лицо подвергается воздействию радиоактивных источников, – это время, указанное в НРБ-99/2009 России [10], составляет максимум 2 суток для радиоактивных аварийных ситуаций. Учитывая эти два последних условия для величины дозы и времени, получим максимальную норму облучения за этот период времени – 20,80 мГр/ч.

С помощью программы Microshield 9.0 рассчитаны расстояния, обеспечивающие данную норму облучения для моделирования всех источников. Полученные окончательные результаты суммированы на рисунке 2.

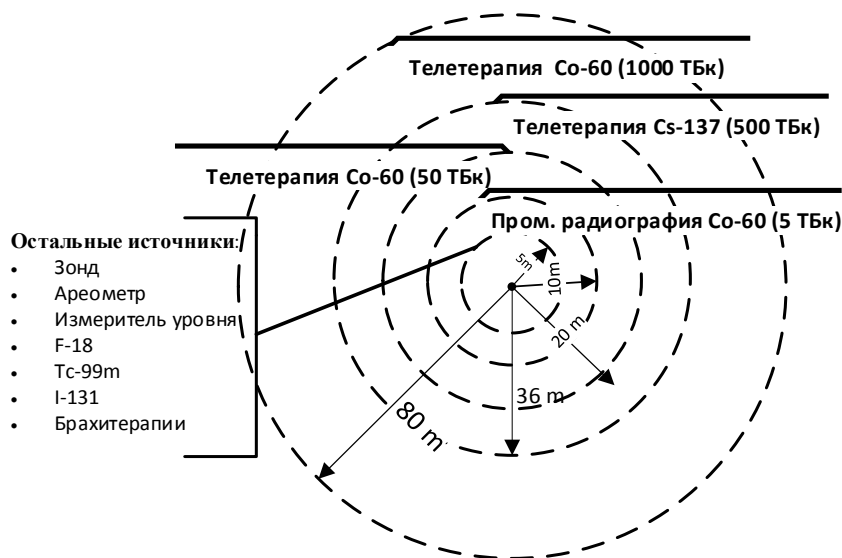


Рисунок 2 – Расстояния, обеспечивающие максимальную норму облучения 20,80 мГр/ч., для источников при различных видах деятельности (детерминированные эффекты) [Distances that provide a maximum exposure rate of 20.80 mGy / h for various activity sources (deterministic effects)]

Рассмотрим величину периметра безопасности, предотвращающую дозы, которые могут привести к росту *стохастических эффектов* облучения людей. Для этого критерия [9] используется величина эффективной дозы $E_T = 10$ мЗв, а временной период равен по-прежнему 2-м суткам.

Использование этого уровня вмешательства для значения этой дозы было оптимизировано с учетом населения в целом, при нормальных условиях на момент реализации. Следовательно, значение не нужно корректировать, если в группе населения имеются дети или беременные женщины.

Новый уровень мощности дозы в пределах периметра составляет 0,2 мЗв/ч, при котором осуществляется моделирование с целью получения безопасных расстояний в терминах стохастических эффектов. В результате всех симуляций для каждого источника получим окончательные периметры безопасности (рис. 3).

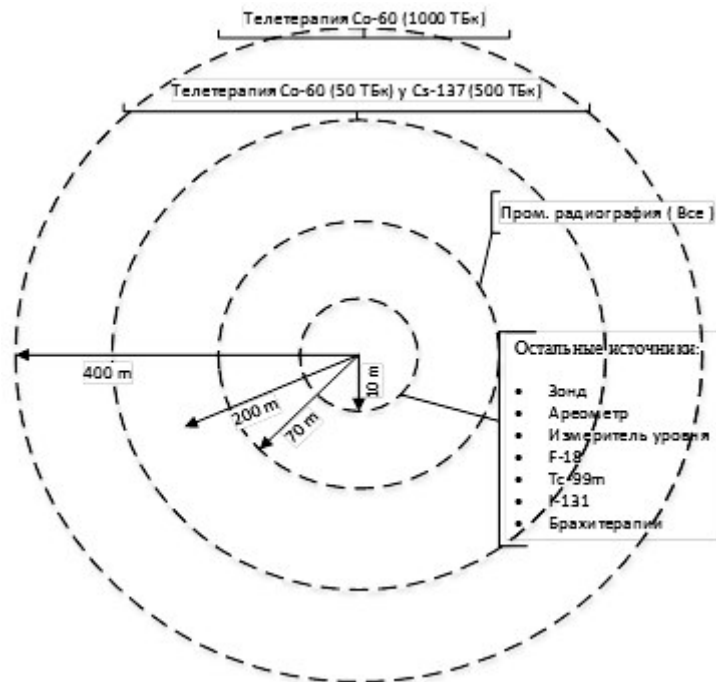


Рисунок 3 – Расстояния, обеспечивающие максимальную норму облучения 0,2 мЗв/ч., для источников при различных видах деятельности (стохастические эффекты) [Distances that provide a maximum exposure rate of 0.2 mSv / h, for various activity sources (stochastic effects)]

С. Расстояние безопасности для открытых источников

В отличие от закрытых источников, которые представляют риск внешнего облучения тела человека, для открытых радиоактивных источников рассматриваются внутренние пути облучения, то есть радиоактивное вещество может проникнуть в организм в основном при вдыхании или проглатывании, воздействуя на различные органы в зависимости от биологического метаболизма каждого радионуклида в организме.

Источником выброса радиоактивного вещества в атмосферу может быть:

а) **Пожар** в помещениях, лабораториях, складах и т.д., где имеется радиоактивное вещество. В этом случае токсическое радиоактивное облако может преодолеть барьеры безопасности конструкции упаковки источника, особенно теплового барьера.

б) **Взрыв**, в этом случае принимается во внимание сценарий терроризма, в котором используется устройства радиологического рассеяния (УРР), а также ситуации, в которых может произойти взрыв обычных материалов, таких как бензин или газ.

в) **Повторный переход во взвешенное состояние**, когда открытый или закрытый разгерметизированный радиоактивный источник диспергирован на землю и вторично перешел во взвешенное состояние в атмосферу и распространился на большие расстояния.

В настоящей работе рассмотрен первый из трёх сценариев, связанных с открытыми радиоактивными источниками для всех типов существующих источников в Республике Чили. Для каждого сценария определены Критические Периметры

Безопасности и Периметры Безопасности.

Значения доз вмешательства (ОБЭ-взвешенная доза AD_T , [9]) для расчета Критического Периметра Безопасности в случае открытых источников определяются, как:

- $AD(\Delta)_{\text{красный мозг}}$: 0,2 [Гр-экв]; для включения радионуклидов-актининов.
- $AD(\Delta)_{\text{красный мозг}}$: 2,0 [Гр-экв]; для включения радионуклидов, не являющиеся актинидами.
- $AD(\Delta)_{\text{щитовидная железа}}$: 30 [Гр-экв].
- $AD(\Delta)_{\text{ободочная кишка}}$: 20 [Гр-экв].
- $AD_{\text{плод}}$: 0,1 [Гр-экв]; для беременных женщин.

Эти ограничения исходят из предположения, что для населения, подверженного воздействию радиоактивного облака, будут затронуты 5% облученных людей, у которых возникнут какие-либо детерминированные эффекты за период включения $\Delta = 30$ дней.

Актиниды, в отличие от других радионуклидов, не являющихся актинидами, имеют заметное биокинетическое отличие при попадании в организм, поэтому доставка доз в красный мозг, обусловленная актинидами, обычно примерно в 50 раз выше, чем у не актиноидов.

В Республике Чили очень мало разновидностей радиоактивных источников промышленного использования, содержащих актиниды (Cf, Am), и они имеют низкую активность. Однако по причине своего существования в дальнейшем они будут учитываться при расчетах критического периметра. Кроме того, при определении предела дозы $AD(\Delta)_{\text{щитовидная железа}}$ следует учитывать только те радионуклиды, которые поглощаются в ней (в Чили находятся только йод и технеций).

Моделирование и последующие вычисления проводились с использованием программы HotSpot Health Physics v.3.0 [11], позволяющей создавать модели радиоактивного облака, взрыва, пожара в присутствии радиоактивного вещества и суспензии, осажденных в грунте.

Важно знать условия моделирования, в которых выполняются сценарии. Это связано с тем, что специалист по радиологической защите, зная эти условия, сможет приблизительно скорректировать результаты, полученные в соответствии с реальной ситуацией, которая складывается на месте аварии, в случае, если эти условия далеки от тех, которые используются в этом моделировании.

В качестве примера в таблице 2 приведены параметры моделирования для случая пожара с участием радиоактивного материала. Используемые метеорологические данные – температура, скорость и направление ветра, тип устойчивости, соответствуют среднемесячным значениям, имеющимся в городе Сантьяго-де-Чили, без дождливых дней. Полученные по этому сценарию результаты показаны на рисунке 4.

Таблица 2 – Параметры моделирования в случае пожара с участием радиоактивного материала [Simulation parameters in case of fire involving radioactive material]

Количество и скорость всасывания радионуклида после вдыхания	Опасный материал	Коэффициент повреждения	Фактор утечки	Воздушная фракция	Скорость осаждения, см/с	Вдыхаемая фракция
1	2	3	4	5	6	7
F*	100%	1	1	0,1	0,3	0,05

*F – быстрая 100% абсорбция со средним биологическим временем 10 мин

Продолжение таблицы 2

Радиус возгорания	Размер облака	Высота пламени	Температура воздуха	Тепловая эмиссия	Длительность пожара	Выделяемая энергия
8	9	10	11	12	13	14
20 м	10 м	0 м	28°C	2,0×10 ⁷ , кал/с	4 час	12000 кал/г

Окончание таблицы 2

Скорость ветра на высоте 10 м	Направление ветра	Устойчивость атмосферы	Высота вдыхания человека	Тип местности	Время между возгоранием и выбросом	Скорость дыхания
15	16	17	18	19	20	21
2,4 м/с	315°	C**	1,5 м	стандарт	30 мин	0,0003 м ³ /с

**Атмосферная стабильность, С – слабо неустойчивая

Радиус критического периметра безопасности для всех источников составляет 10 м, а расчетные радиусы периметров безопасности с параметрами (табл. 2) показаны на рисунке 4.

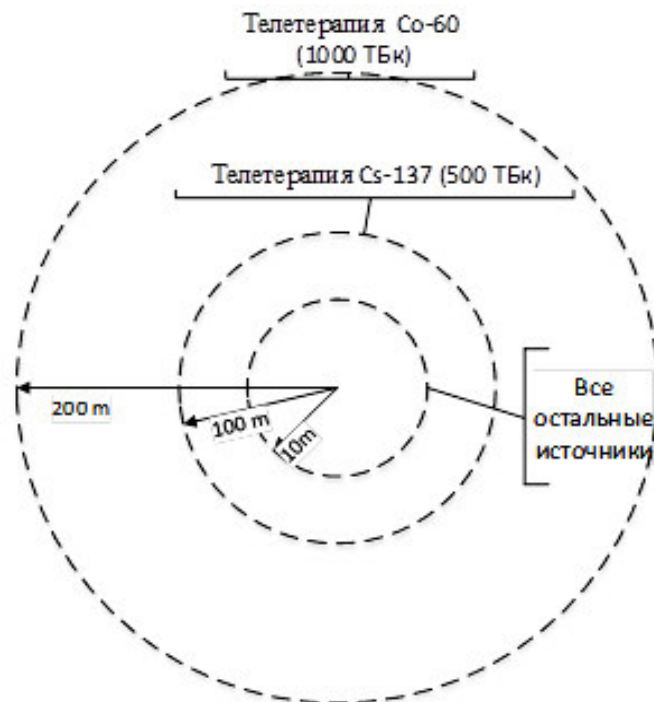


Рисунок 4 – Периметр безопасности источников в случае пожара с радиоактивным материалом (параметры сценария приведены в таблице 2) [Perimeter security of sources in case of a fire with radioactive material (scenario parameters are given in Table 2)]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложены процедуры и критерии с целью установления двух основных периметров безопасности для создания зон безопасности вокруг источника в случае чрезвычайных ситуаций. Разработаны необходимые предложения и скорректированы существующие потребности в Чили с точки зрения того, как действовать в чрезвычайных ситуациях с радиоактивными веществами.

Эти предложения в дальнейшем предполагается предоставить существующему органу по ядерному регулированию в Чили для его оценки и адаптации к нынешней системе реагирования в случае радиоактивных аварийных ситуаций в стране.

Последнее подразумевает его применение и внедрение не только специальными

органами, занимающимися реагированием на чрезвычайные ситуации, но и для всех тех учреждений, которые занимаются предупреждением и решением задач, связанных с чрезвычайными ситуациями в стране, в том числе: таможня, полиция, пожарные, морские власти, национальный разведывательный центр и прочие.

В работе за основу взята радиологическая ситуация в Республике Чили, однако, представленные здесь результаты позволяют адаптировать их к реальному радиологическому контексту, существующему в любой стране.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. International Atomic Energy Agency. The Radiological Accident in Nueva Aldea. STI/PUB/1389. Vienna. 2009.
2. International Atomic Energy Agency. The Radiological Accident in Goiânia. STI/PUB/815. Vienna. 1988.
3. International Atomic Energy Agency. «Publications on Accident Response». 2018. Available at : https://www-pub.iaea.org/books/iaeabooks/publications_on_accident_response (дата обращения: 06.06.2018).
4. International Atomic Energy Agency, Arrangements for Preparedness for a Nuclear or Radiological Emergency, N GS-G-2.1, STI/PUB/1265, Vienna, 2006.
5. International Atomic Energy Agency, Generic Procedures for Assessment and Respond During a Radiological Emergency, N°. 1162, IAEA-TECDOC-1162, Vienna, 2000.
6. International Atomic Energy Agency, «Manual for First Responders to a Radiological Emergency», EPR-First Responders (2006), 2006. Available at : <http://www.iaea.org>.
7. International Atomic Energy Agency, Dangerous Quantities of Radioactive Material (D-values), EPR-D-VALUES (2006), Vienna, 2006.
8. International Atomic Energy Agency, Categorization of Radioactive Sources. No. RS-G-1.9., STI/PUB/1227, Vienna, 2005.
9. International Atomic Energy Agency, Development of an Extended Framework for Emergency Response Criteria, No. 1432, IAEA-TECDOC-1432, Vienna, 2005.
10. Государственное санитарно-эпидемиологическое нормирование Российской Федерации. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009), Москва, 2009.
11. National Atmospheric Release Advisory Center. Available at: <https://narac.llnl.gov/> (дата обращения: 06.06.2018).

REFERENCES

- [1] International Atomic Energy Agency, The Radiological Accident in Nueva Aldea, STI/PUB/1389, Vienna, 2009.
- [2] International Atomic Energy Agency, The Radiological Accident in Goiânia, STI/PUB/815, Vienna, 1988.
- [3] International Atomic Energy Agency, «Publications on Accident Response,» 2018. Available at: https://www-pub.iaea.org/books/iaeabooks/publications_on_accident_response.
- [4] International Atomic Energy Agency, Arrangements for Preparedness for a Nuclear or Radiological Emergency, N GS-G-2.1, STI/PUB/1265, Vienna, 2006.
- [5] International Atomic Energy Agency, Generic Procedures for Assessment and Respond During a Radiological Emergency, N. 1162, IAEA-TECDOC-1162, Vienna, 2000.
- [6] International Atomic Energy Agency, «Manual for First Responders to a Radiological Emergency,» EPR-First Responders (2006). Available at: <http://www.iaea.org>
- [7] International Atomic Energy Agency, Dangerous Quantities of Radioactive Material (D-values), EPR-D-VALUES (2006), Vienna, 2006.
- [8] International Atomic Energy Agency, Categorization of Radioactive Sources. No. RS-G-1.9, STI/PUB/1227, Vienna, 2005.
- [9] International Atomic Energy Agency, Development of an Extended Framework for Emergency Response Criteria, No. 1432, IAEA-TECDOC-1432, Vienna, 2005.
- [10] Gosudarstvennoe sanitarno-èpidemiologicheskoe normirovanie Rossijskoj Federacii. Normy`radiacionnoj bezopasnosti (NRB-99/2009) [State Sanitary-Epidemiological Regulation of the Russian Federation. Radiation Safety Standards (RSS-99/2009)]. Moscow. 2009 (in Russian).
- [11] National Atmospheric Release Advisory Center. Available at: <https://narac.llnl.gov/>.

Issues of Radiation Security in the Republic of Chile**O.F. Yañez Quintanilla¹, A.I. Ksenofontov²**

*National Research Nuclear University «MEPhI»,
Kashirskoye shosse, 31, Moscow, Russia 115409*

¹ *ORCID iD: 0000-0002-1707-1118*

WoS Researcher ID: N-2258-2018

e-mail: oscar.vaorsag@gmail.com

² *ORCID iD: 0000-0002-6864-9805*

WoS Researcher ID: H-1833-2017

e-mail: AIKsenofontov@mephi.ru

Abstract – The objective of the work is to establish a criteria and methodology to determine safe distances in the case of emergency situations involving radioactive or nuclear material. The current radiological/nuclear situation in the Republic of Chile is taken as a basis; however, the results presented here allow to adapt them to the real radiological context existing in any country.

Keywords: dose rate, external irradiation, ionizing radiation, radioactive contamination, safe distances, safety perimeters.