

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ПО
ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ»**

**МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
ПО ВОПРОСАМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВЫБРОСОВ
И СБРОСОВ РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ
В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

**Часть II
Регулирование сбросов радиоактивных веществ
в водные объекты**

А.В. Курындин, А.А. Строганов, А.С. Шаповалов, Н.Б. Тимофеев

Москва 2017

УДК 621.039.58
ББК 30.69
М 54

Методическое пособие по вопросам регулирования выбросов и сбросов радиоактивных веществ в окружающую среду. Часть II. Регулирование сбросов радиоактивных веществ в водные объекты. – М.: ФБУ «НТЦ ЯРБ», 2017. – 114 с.

Методическое пособие разработано с целью оптимизации информации по регулированию выбросов и сбросов радиоактивных веществ в окружающую среду в Российской Федерации.

Данная часть методического пособия посвящена вопросам нормирования сбросов радиоактивных веществ в водные объекты.

Рекомендуется к использованию при решении вопросов, связанных с регулированием сбросов радиоактивных веществ в водные объекты.

Адрес для запросов: 107140, Москва, ул. Малая Красносельская, д. 2/8, корп. 5. ФБУ «НТЦ ЯРБ».

УДК 621.039.58
ББК 30.69

Содержание

Обозначения и сокращения	4
Предисловие	5
Глава 1. Нормативно-правовые основы регулирования сбросов радиоактивных веществ в водные объекты	7
Глава 2. Методические основы нормирования и контроля сбросов радиоактивных веществ в водные объекты.....	15
2.1. Методика разработки нормативов	15
2.2. Методы расчета радиоэкологических параметров.....	28
Глава 3. Пример расчета нормативов допустимых сбросов	36
Заключение	67
Список использованных источников	68
Приложение А. Методика разработки нормативов допустимых сбросов радиоактивных веществ в водные объекты для водопользователей	71
Приложение Б. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии «Рекомендуемые методы расчета параметров, необходимых для разработки нормативов допустимых сбросов радиоактивных веществ в водные объекты».....	87

Обозначения и сокращения

АС	- атомная станция
ВВЭР	- водо-водяной энергетический реактор
ДС	- допустимый сброс
МАГАТЭ	- Международное агентство по атомной энергии
МКРЗ	- Международная комиссия по радиационной защите
МДА	- минимальная детектируемая активность
МУА	- максимальная удельная активность
НПО	- нижний порог обнаружения
ОИАЭ	- объект использования атомной энергии
ОЯТ	- отработавшее ядерное топливо
ПБЭ	- пределы безопасной эксплуатации
ПЗУА	- предельные значения удельной активности
РАО	- радиоактивные отходы
УАНИ	- удельная активность радионуклидов, при которых допускается неограниченное использование твердых материалов
УВ	- уровень вмешательства
ФНП	- федеральные нормы и правила
ЭП	- эксплуатационные пределы

Предисловие

За последние годы законодательство Российской Федерации в части регулирования радиоактивных выбросов и сбросов в окружающую среду претерпело существенные изменения. Так, в «Положение о Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору», утвержденное постановлением Правительства Российской Федерации от 30 июля 2004 г. № 401 [1], внесены изменения, в соответствии с которыми в компетенцию Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (далее – Ростехнадзор) включены функции по установлению нормативов предельно допустимых выбросов и допустимых сбросов радиоактивных веществ, по выдаче разрешений на выбросы и сбросы радиоактивных веществ в окружающую среду в пределах установленных нормативов и по утверждению методик разработки и установления нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух и нормативов допустимых сбросов радиоактивных веществ в водные объекты.

В 2011 г. в «Положение о нормативах выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух и вредных физических воздействий на него», утвержденное постановлением Правительства Российской Федерации от 2 марта 2000 г. № 183 [2], внесено изменение, в соответствии с которым при определении нормативов выбросов радиоактивных веществ применяется методология определения предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух, утверждаемая Ростехнадзором. В этом же году в постановление Правительства Российской Федерации от 23 июля 2007 г. № 469 «О порядке утверждения нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей» [3] внесено изменение, в соответствии с которым нормативы допустимых сбросов радиоактивных веществ в водные объекты утверждаются Ростехнадзором по согласованию с рядом федеральных органов исполнительной власти в соответствии с Методикой разработки нормативов допустимых сбросов радиоактивных веществ в водные объекты для водопользователей, которая также должна быть утверждена Ростехнадзором.

Указанные изменения, безусловно, имеют значимое положительное влияние на обеспечение благоприятной окружающей среды, поскольку для большинства объектов использования атомной энергии установление нормативов радиоактивных выбросов и сбросов на уровне нормативных правовых актов ранее не регулировалось, отсутствовала единая признанная критериальная и методическая основа определения нормативов выбросов и сбросов, а выбор критериев и методов разработки нормативов носил стихийный характер.

В связи с указанными изменениями Ростехнадзором осуществлена разработка ряда нормативных правовых актов, регламентирующих принципы и критерии установления нормативов радиоактивных выбросов и сбросов, и рекомендательных документов, в которых приводятся методы определения параметров, применяющихся для расчета этих нормативов. При этом данные документы являются довольно сложными технически и содержат требования и рекомендации, направленные на исполнение положений законодательных актов, подзаконных актов и нормативных документов, которые относятся не только к законодательству в области использования атомной

энергии, но и к законодательству в области охраны окружающей среды и которые также необходимо учитывать при разработке нормативов выбросов и сбросов.

В 2015 г. ФБУ «НТЦ ЯРБ» была выпущена первая часть методического пособия по вопросам регулирования выбросов и сбросов радиоактивных веществ в окружающую среду «Методические основы регулирования выбросов и сбросов. Нормирование выбросов радиоактивных веществ в окружающую среду» [4].

В [4] рассмотрены основные цели и задачи регулирования выбросов и сбросов радиоактивных веществ в окружающую среду, описаны подходы к установлению нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух и допустимых сбросов радиоактивных веществ в водные объекты, основанные на многолетнем опыте, накопленном как Российской Федерацией, так и другими странами-членами МАГАТЭ, вопросы компетенции в отношении выдачи разрешений на выбросы и сбросы радиоактивных веществ, а также аспекты мониторинга выбросов и сбросов. Кроме того, первая часть методического пособия содержит подробное описание математических моделей, рекомендуемых для использования при разработке нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух.

Данная часть методического пособия посвящена вопросам нормирования сбросов радиоактивных веществ в водные объекты и содержит:

- описание нормативно-правовой основы регулирования сбросов радиоактивных веществ в водные объекты;

- описание методологии установления нормативов допустимых сбросов, а также ее научной основы;

- подробное рассмотрение примеров расчета нормативов допустимых сбросов радиоактивных веществ для различных типов водных объектов.

ГЛАВА 1. НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ СБРОСОВ РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ

Законодательство Российской Федерации в области регулирования сбросов радиоактивных веществ в водные объекты основывается, в основном, на положениях следующих федеральных законов:

Федеральный закон № 7-ФЗ от 10 января 2002 г. «Об охране окружающей среды» [5];

Федеральный закон № 170-ФЗ от 21 ноября 1995 г. «Об использовании атомной энергии» [6];

Федеральный закон № 3-ФЗ от 9 января 1996 г. «О радиационной безопасности населения» [7];

Федеральный закон № 52-ФЗ от 30 марта 1999 г. «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» [8];

Федеральный закон № 74-ФЗ от 3 июня 2006 г. «Водный кодекс Российской Федерации» [9];

Федеральный закон № 166-ФЗ от 20 декабря 2004 г. «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов» [10].

В соответствии со статьей 19 [5] нормирование в области охраны окружающей среды осуществляется в целях государственного регулирования воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду, гарантирующего сохранение благоприятной окружающей среды и обеспечение экологической безопасности, а порядок, в котором осуществляется нормирование, устанавливается Правительством Российской Федерации.

В отношении сбросов радиоактивных веществ такой порядок установлен в постановлениях Правительства Российской Федерации [1] и [3], в соответствии с которыми федеральным органом исполнительной власти, в компетенцию которого входит установление нормативов допустимых сбросов радиоактивных веществ в водные объекты, является Ростехнадзор.

С 1 января 2019 г. положения Федерального закона [5], касающиеся нормирования в области охраны окружающей среды, претерпят ряд изменений, поскольку вступят в силу изменения, предусмотренные пунктом 11) статьи 1 Федерального закона [11]. После вступления в силу этих изменений в пункте 1 статьи 22 «Нормативы допустимых выбросов, нормативы допустимых сбросов» [5] будет установлено, что:

1) нормативы допустимых сбросов (далее – ДС) должны устанавливаться для стационарного источника загрязнения окружающей среды и (или) их совокупности;

2) нормативы ДС должны устанавливаться в отношении загрязняющих веществ (к которым на основании статьи 1 [5] относятся и радиоактивные вещества), включенных в перечень загрязняющих веществ, установленный Правительством Российской Федерации.

В соответствии с терминологией, установленной в статье 1 [5], характерной особенностью стационарного источника загрязнения окружающей среды является возможность определения его месторасположения с применением единой государственной системы координат. Следует отметить, что к стационарным источникам загрязнения окружающей среды относятся в том числе и источники сбросов.

Что касается подлежащих нормированию радиоактивных веществ – распоряжением Правительства Российской Федерации [12] утвержден перечень, включающий в себя 81 радионуклид, в отношении каждого из которых должны применяться меры государственного регулирования (таблица № 1). Следовательно, для данных радионуклидов необходимо установление нормативов ДС, поскольку регулирование включает в себя и нормирование сбросов в водные объекты.

Термин «загрязнение окружающей среды» в соответствии со статьей 1 [5] определяется как поступление в окружающую среду веществ, свойства, местоположение или количество которых оказывают негативное воздействие на окружающую среду. Из этого следует, что нормативы сбросов должны устанавливаться для любых источников, характеристики которых приводят к загрязнению окружающей среды, в том числе независимо от их формы и размеров. Таким образом, нормативы ДС должны устанавливаться как для организованных, так и для неорганизованных источников сбросов.

В соответствии со статьей 22 [5] нормативы ДС относятся к нормативам допустимого воздействия на окружающую среду. Нормативы допустимого воздействия (следовательно, и нормативы ДС) в соответствии с данной статьей устанавливаются в целях предотвращения негативного воздействия на окружающую среду хозяйственной и иной деятельности для юридических и физических лиц, являющихся природопользователями.

Таблица № 1

Радионуклиды, в отношении которых должны применяться меры государственного регулирования

Радионуклид	Период полураспада $T_{1/2}$, лет	Постоянная распада λ , год ⁻¹	Радионуклид	Период полураспада $T_{1/2}$, лет	Постоянная распада λ , год ⁻¹	Радионуклид	Период полураспада $T_{1/2}$, лет	Постоянная распада λ , год ⁻¹
²⁴¹ Am	$4,32 \cdot 10^2$	$1,61 \cdot 10^{-3}$	¹⁴⁰ La	$4,60 \cdot 10^{-3}$	$1,51 \cdot 10^2$	¹²⁴ Sb	$1,65 \cdot 10^{-1}$	$4,20 \cdot 10^0$
¹⁴⁰ Ba	$3,50 \cdot 10^{-2}$	$1,98 \cdot 10^1$	⁵⁴ Mn	$8,55 \cdot 10^{-1}$	$8,11 \cdot 10^{-1}$	¹²⁵ Sb	$2,76 \cdot 10^0$	$2,51 \cdot 10^{-1}$
³ H	$1,23 \cdot 10^1$	$5,6 \cdot 10^{-2}$	⁹⁹ Mo	$7,53 \cdot 10^{-3}$	$9,21 \cdot 10^1$	²⁰¹ Tl	$8,32 \cdot 10^{-3}$	$8,33 \cdot 10^1$
⁶⁷ Ga	$8,94 \cdot 10^{-3}$	$7,75 \cdot 10^1$	²² Na	$2,60 \cdot 10^0$	$2,67 \cdot 10^{-1}$	^{123m} Te	$3,27 \cdot 10^{-1}$	$2,12 \cdot 10^0$
¹⁵² Eu	$1,35 \cdot 10^1$	$5,10 \cdot 10^{-2}$	²⁴ Na	$1,71 \cdot 10^{-3}$	$4,05 \cdot 10^2$	⁹⁹ Tc	$2,11 \cdot 10^5$	$3,29 \cdot 10^{-6}$
¹⁵⁴ Eu	$8,59 \cdot 10^0$	$8,1 \cdot 10^{-2}$	²³⁷ Np	$2,14 \cdot 10^6$	$3,24 \cdot 10^{-7}$	^{99m} Tc	$6,87 \cdot 10^{-4}$	$1,01 \cdot 10^3$
¹⁵⁵ Eu	$4,76 \cdot 10^0$	$1,46 \cdot 10^{-1}$	⁶³ Ni	$1,00 \cdot 10^2$	$6,93 \cdot 10^{-3}$	²³⁰ Th	$7,54 \cdot 10^4$	$9,19 \cdot 10^{-6}$
⁵⁵ Fe	$2,74 \cdot 10^0$	$2,53 \cdot 10^{-1}$	⁹⁵ Nb	$9,60 \cdot 10^{-2}$	$7,22 \cdot 10^0$	²³¹ Th	$2,91 \cdot 10^{-3}$	$2,38 \cdot 10^2$
⁵⁹ Fe	$1,22 \cdot 10^{-1}$	$5,68 \cdot 10^0$	²³⁸ Pu	$8,77 \cdot 10^1$	$7,90 \cdot 10^{-3}$	²³² Th	$1,41 \cdot 10^{10}$	$4,92 \cdot 10^{-11}$
¹⁹⁸ Au	$7,38 \cdot 10^{-3}$	$9,39 \cdot 10^1$	²³⁹ Pu	$2,41 \cdot 10^4$	$2,88 \cdot 10^{-5}$	²³⁴ Th	$6,60 \cdot 10^{-2}$	$1,05 \cdot 10^1$
¹¹¹ In	$7,68 \cdot 10^{-3}$	$9,03 \cdot 10^1$	²⁴⁰ Pu	$6,56 \cdot 10^3$	$1,06 \cdot 10^{-4}$	¹⁴ C	$5,70 \cdot 10^3$	$1,22 \cdot 10^{-4}$
¹⁹² Ir	$2,02 \cdot 10^{-1}$	$3,43 \cdot 10^0$	²⁴¹ Pu	$1,44 \cdot 10^1$	$4,80 \cdot 10^{-2}$	²³² U	$6,89 \cdot 10^1$	$1,00 \cdot 10^{-2}$
¹²³ I	$1,52 \cdot 10^{-3}$	$4,56 \cdot 10^2$	²¹⁰ Po	$3,79 \cdot 10^{-1}$	$1,83 \cdot 10^0$	²³³ U	$1,59 \cdot 10^5$	$4,36 \cdot 10^{-6}$
¹²⁹ I	$1,57 \cdot 10^7$	$4,42 \cdot 10^{-8}$	¹⁴⁴ Pr	$3,29 \cdot 10^{-5}$	$2,11 \cdot 10^4$	²³⁴ U	$2,46 \cdot 10^5$	$2,82 \cdot 10^{-6}$
¹³¹ I	$2,20 \cdot 10^{-2}$	$3,15 \cdot 10^1$	¹⁴⁷ Pm	$2,62 \cdot 10^0$	$2,65 \cdot 10^{-1}$	²³⁵ U	$7,04 \cdot 10^8$	$9,85 \cdot 10^{-10}$

6

Продолжение таблицы № 1

Радио- нук- лид	Период полурас- пада $T_{1/2}$, лет	Постоян- ная рас- пада λ , год ⁻¹	Радио- нук- лид	Период полурас- пада $T_{1/2}$, лет	Постоян- ная рас- пада λ , год ⁻¹	Радио- нук- лид	Период полурас- пада $T_{1/2}$, лет	Постоян- ная рас- пада λ , год ⁻¹
¹³² I	$2,62 \cdot 10^{-4}$	$2,65 \cdot 10^3$	²²⁶ Ra	$1,60 \cdot 10^3$	$4,33 \cdot 10^{-4}$	²³⁶ U	$2,34 \cdot 10^7$	$2,96 \cdot 10^{-8}$
¹³³ I	$2,37 \cdot 10^{-3}$	$2,92 \cdot 10^2$	²²² Rn	$1,00 \cdot 10^{-2}$	$6,93 \cdot 10^1$	²³⁸ U	$4,47 \cdot 10^9$	$1,55 \cdot 10^{-10}$
¹³⁵ I	$7,50 \cdot 10^{-4}$	$9,24 \cdot 10^2$	¹⁹⁷ Hg	$7,41 \cdot 10^{-3}$	$9,35 \cdot 10^1$	³² P	$3,90 \cdot 10^{-2}$	$1,78 \cdot 10^1$
⁴² K	$1,41 \cdot 10^{-3}$	$4,92 \cdot 10^2$	¹⁰³ Ru	$1,08 \cdot 10^{-1}$	$6,42 \cdot 10^0$	³⁶ Cl	$3,01 \cdot 10^5$	$2,30 \cdot 10^{-6}$
⁴⁵ Ca	$4,46 \cdot 10^{-1}$	$1,55 \cdot 10^0$	¹⁰⁶ Ru	$1,02 \cdot 10^0$	$6,80 \cdot 10^{-1}$	⁵¹ Cr	$7,60 \cdot 10^{-2}$	$9,12 \cdot 10^0$
⁴⁷ Ca	$1,20 \cdot 10^{-2}$	$5,78 \cdot 10^1$	²¹⁰ Pb	$2,22 \cdot 10^1$	$3,10 \cdot 10^{-2}$	¹³⁴ Cs	$2,06 \cdot 10^0$	$3,36 \cdot 10^{-1}$
⁵⁷ Co	$7,44 \cdot 10^{-1}$	$9,32 \cdot 10^{-1}$	⁷⁵ Se	$3,28 \cdot 10^{-1}$	$2,11 \cdot 10^0$	¹³⁷ Cs	$3,02 \cdot 10^1$	$2,3 \cdot 10^{-2}$
⁵⁸ Co	$1,94 \cdot 10^{-1}$	$3,57 \cdot 10^0$	³⁵ S	$2,40 \cdot 10^{-1}$	$2,89 \cdot 10^0$	¹⁴¹ Ce	$8,90 \cdot 10^{-2}$	$7,79 \cdot 10^0$
⁶⁰ Co	$5,27 \cdot 10^0$	$1,32 \cdot 10^{-1}$	^{110m} Ag	$6,84 \cdot 10^{-1}$	$1,01 \cdot 10^0$	¹⁴⁴ Ce	$7,81 \cdot 10^{-1}$	$8,88 \cdot 10^{-1}$
²⁴² Cm	$4,46 \cdot 10^{-1}$	$1,55 \cdot 10^0$	⁸⁹ Sr	$1,38 \cdot 10^{-1}$	$5,02 \cdot 10^0$	⁶⁵ Zn	$6,69 \cdot 10^{-1}$	$1,04 \cdot 10^0$
²⁴³ Cm	$2,91 \cdot 10^1$	$2,40 \cdot 10^{-2}$	⁹⁰ Sr	$2,88 \cdot 10^1$	$2,40 \cdot 10^{-2}$	⁹⁵ Zr	$1,75 \cdot 10^{-1}$	$3,96 \cdot 10^0$
²⁴⁴ Cm	$1,81 \cdot 10^1$	$3,80 \cdot 10^{-2}$	¹²² Sb	$7,46 \cdot 10^{-3}$	$9,29 \cdot 10^1$	¹⁶⁹ Er	$2,60 \cdot 10^{-2}$	$2,67 \cdot 10^1$

~10~

Нормативы допустимого воздействия, согласно [5], должны обеспечивать соблюдение нормативов качества окружающей среды, которые определены в статье 1 [5] как нормативы, которые устанавливаются в соответствии с физическими, химическими, биологическими и иными показателями для оценки состояния окружающей среды и при соблюдении которых обеспечивается благоприятная окружающая среда. Согласно статье 35 Водного кодекса Российской Федерации [9], нормативы допустимого воздействия на водные объекты должны разрабатываться на основании предельно допустимых концентраций радиоактивных веществ в воде водных объектов. Данные предельно допустимые концентрации на основании статьи 21 [5] относятся к нормативам качества окружающей среды.

Для сбросов химических веществ, в том числе радиоактивных, статьей 23 [5] установлено требование, в соответствии с которым их сброс допускается в пределах установленных нормативов ДС и на основании разрешений, выданных органами исполнительной власти, осуществляющими государственное управление в области охраны окружающей среды. Кроме того, на основании статьи 35 [9] количество радиоактивных веществ, содержащихся в сбросах сточных, в том числе дренажных, вод в водные объекты, не должно превышать установленные нормативы допустимого воздействия на водные объекты.

Следует отметить, что использование нормативов качества окружающей среды предусмотрено не только законодательством в области охраны окружающей среды, но и в рамках законодательства о рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов [10].

В соответствии со статьей 47 [10] для водных объектов рыбохозяйственного назначения должны устанавливаться нормативы качества воды, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ. К таким водным объектам на основании статьи 17 [10] относятся водные объекты, которые используются или могут быть использованы для добычи (вылова) водных биологических ресурсов. С учетом определения термина «водные биологические ресурсы», установленного в статье 1 [10], из вышеприведенного следует, что нормативы качества должны устанавливаться для тех водных объектов, где на основаниях, предусмотренных [10], допускается добыча (вылов) рыбы, водных беспозвоночных, водных млекопитающих, водорослей и других водных животных и растений, находящихся в состоянии естественной свободы.

Кроме того, в соответствии со статьей 47 [10] нормативы качества воды разрабатываются и утверждаются в порядке, определяемом Правительством Российской Федерации. Такой порядок установлен постановле-

нием Правительства Российской Федерации [13], во исполнение которого Министерством сельского хозяйства Российской Федерации приказом [14] утверждены нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного назначения, представляющие собой значения предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах таких водных объектов. Однако ни в указанном приказе, ни в иных актах в рамках законодательства о рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов в настоящий момент не установлены ограничения на концентрации радиоактивных веществ.

Более того, нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного водоснабжения, установленные в [14], являются единственными нормативами качества объектов окружающей среды, установленными нормативно-правовыми актами Российской Федерации, но, тем не менее, в российской нормативно-правовой базе существуют иные ограничения на содержание радиоактивных веществ в объектах окружающей среды.

Так, например, статьей 37 [8], а также статьей 9 [7] установлена необходимость осуществления государственного санитарно-эпидемиологического нормирования. Порядок осуществления такого нормирования определяется положениями постановления Правительства Российской Федерации [15], в соответствии с которыми нормативными правовыми актами, устанавливающими санитарно-эпидемиологические требования, являются Государственные санитарно-эпидемиологические правила и нормативы (СанПиН, СП и др.). В пункте 3 [15] указано, что санитарными нормами и правилами устанавливаются требования к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению населения.

Санитарными правилами и нормативами [16] установлено требование, в соответствии с которым содержание радиоактивных веществ в воде водных объектов, используемых для питьевого водоснабжения, не должно превышать установленные уровни вмешательства (приложение 2а к [16]). Значения этих величин являются ограничениями на содержание радиоактивных веществ в водном объекте, если он используется как источник питьевого и водохозяйственного водоснабжения населения.

В соответствии со статьей 6 Федерального закона [6] требования к безопасному использованию атомной энергии устанавливаются в федеральных нормах и правилах в области использования атомной энергии (далее – ФНП), которые, в соответствии с порядком их утверждения [17], утверждаются федеральными органами исполнительной власти, осуществляющими государственное регулирование безопасности при использовании атомной энергии. Уполномоченным органом государственного регулирования безопасности при использовании атомной энергии на ос-

новании статьи 24.1 [6] является Ростехнадзор, утвердивший ряд ФНП, содержащих требования о недопустимости превышения нормативов ДС, а также требования о мерах контроля сбросов радиоактивных веществ (например, [18], [19], [20], [21], [22]).

Следует отметить, что в соответствии с [18], [19], [20] и [21] соблюдение нормативов ДС является одним из критериев обеспечения безопасности объектов использования атомной энергии (далее – ОИАЭ), на которые распространяются данные требования.

Во исполнение полномочий, возложенных на Ростехнадзор постановлениями Правительства Российской Федерации [1] и [3], приказом Ростехнадзора от 22 декабря 2016 г. № 551 (зарегистрирован Минюстом России 15 февраля 2017 г., регистрационный № 45652) была утверждена «Методика разработки нормативов допустимых сбросов радиоактивных веществ в водные объекты для водопользователей» (далее – Методика) [23], согласованная, как это требовалось положениями [3], рядом других федеральных органов исполнительной власти.

Методика [23] (представлена в приложении А к настоящей части методического пособия) является нормативным правовым актом, устанавливающим обязательные к соблюдению на территории Российской Федерации требования к порядку разработки нормативов ДС радиоактивных веществ в водные объекты. Порядок нормирования сбросов радиоактивных веществ в водные объекты, установленный в [23], подробно описан в главе 2 настоящей части методического пособия.

Еще одним типом документов, в которых рассматриваются вопросы, связанные с регулированием сбросов радиоактивных веществ в водные объекты, являются разрабатываемые и утверждаемые Ростехнадзором руководства по безопасности. В качестве примеров таких документов можно привести руководства по безопасности [24] (представлено в приложении Б к [4]) и [25] (представлено в приложении Б к настоящей части методического пособия). Данные документы носят рекомендательный характер и не содержат обязательных требований, но, поскольку они разрабатываются в полном соответствии с российским законодательством, а также учитывают международный опыт в области использования атомной энергии, их использование позволит упростить процесс разработки нормативов.

На рис. 1 схематически изображена нормативно-правовая база Российской Федерации в области нормирования сбросов радиоактивных веществ в водные объекты.

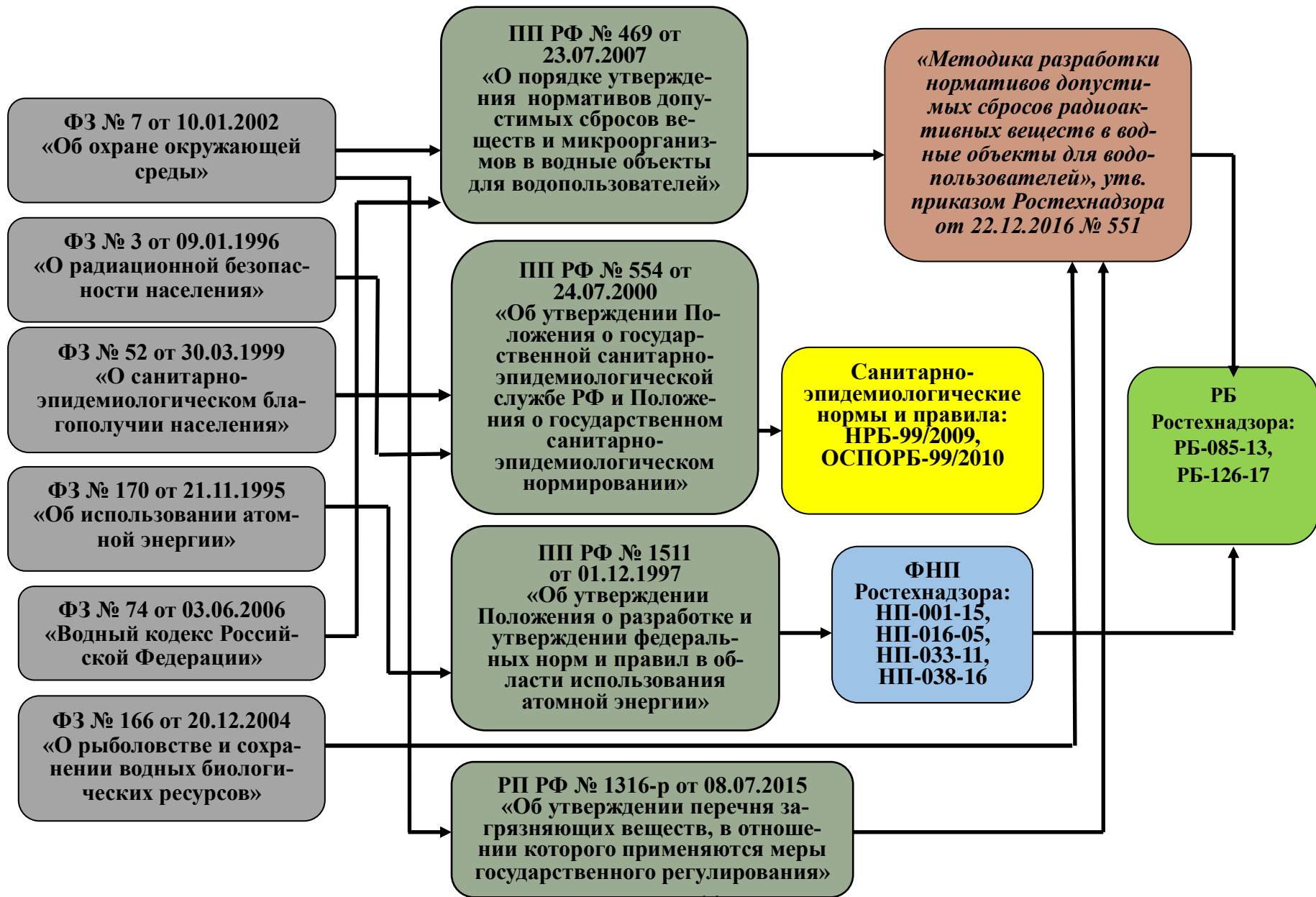


Рис. 1. Структура законодательства, относящегося к нормированию радиоактивных сбросов

ГЛАВА 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НОРМИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ СБРОСОВ РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ

Методические основы нормирования и контроля сбросов радиоактивных веществ в водные объекты формируются положениями Методики [23] (приложение А к настоящей части методического пособия) и руководств по безопасности [24] (приложение Б к [4]) и [25] (приложение Б к настоящей части методического пособия). В данной главе рассмотрены основные положения [23] и [25], описана критериальная база для разработки нормативов, установленная в [23], а также научная основа методов определения параметров, требуемых для расчета нормативов положениями Методики [23] и рекомендуемых в [25].

2.1. Методика разработки нормативов

Действие Методики [23] распространяется на организации, эксплуатирующие объекты, имеющие в своем составе стационарные источники сбросов радиоактивных веществ (сбросов радиоактивных сточных вод) в водные объекты, в том числе на эксплуатирующие организации ОИАЭ и на иные организации, эксплуатирующие объекты хозяйственной и иной деятельности, не относящиеся к ОИАЭ и осуществляющие сбросы радиоактивных веществ (сбросы радиоактивных сточных вод) в водные объекты (далее – организации), за исключением организаций, деятельность которых не приводит к изменению объемной активности радиоактивных веществ (по сравнению с фоновой) и (или) внесению дополнительной (к фоновой) активности радиоактивных веществ при условии, что сброс осуществляется в тот же водный объект, из которого отобрана вода для ведения деятельности.

В качестве такого исключения можно привести следующий пример. Предположим, что на берегах водного объекта (например, озера) расположены два производства – завод по переработке ОЯТ и РАО, осуществляющий сбросы радиоактивных веществ в водный объект, и целлюлозно-бумажный завод, использующий воду водного объекта для охлаждения какого-либо технологического оборудования и затем сбрасывающий эту воду обратно в водный объект, при этом в процессе деятельности целлюлозно-бумажного завода никаких радиоактивных веществ не образуется. Таким образом, сбросы целлюлозно-бумажного завода не приводят ни к каким изменениям объемной активности радиоактивных веществ в водном объекте.

Методика [23] распространяется на следующие типы водных объектов:

водотоки: реки, ручьи, каналы;
водоемы: озера, пруды, обводненные карьеры, водохранилища;
отдельные части морей: проливы, заливы, в том числе бухты, лиманы и прочее.

В соответствии с Методикой [23] нормативы ДС устанавливаются для каждого проектируемого и (или) существующего в организации конкретного источника сбросов в водный объект, сброс радионуклидов из которого создает (без учета рассеивания) индивидуальную годовую эффективную дозу облучения критической группы лиц из населения, превышающую 10 мкЗв (под критической группой лиц из населения понимается группа лиц из населения в составе не менее 10 человек, однородная по одному или нескольким признакам – полу, возрасту, социальным или профессиональным условиям, месту проживания, рациону питания, которая подвергается наибольшему радиационному воздействию за счет сбросов радиоактивных веществ). При этом нормативы ДС устанавливаются для всех радионуклидов, совокупный вклад которых в значение годовой эффективной дозы с учетом рассеивания составляет не менее 99 %. Стоит подчеркнуть, что при этом нормированию подлежат только радионуклиды, входящие в Перечень загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды, утвержденный распоряжением Правительства Российской Федерации [12].

Согласно Методике [23] нормативы ДС для организации впервые устанавливаются на стадии проектирования (на основе данных проектных изысканий) и за время эксплуатации должны пересматриваться не реже одного раза в 7 лет. При этом изменения водной системы, характеристик водопользования, модернизация или создание дополнительных гидротехнических сооружений, а также изменение деятельности организации, приводящее к изменению расходов радиоактивных сточных вод из источников сбросов, объемных активностей радионуклидов в данных радиоактивных сточных водах и (или) их радионуклидного состава, требуют обязательного внеочередного пересмотра нормативов ДС.

Таким образом, если на территории организации осуществляется новый вид деятельности, например, деятельность по обогащению урана, это приведет к изменению расходов радиоактивных сточных вод, к изменению радионуклидного состава сбросов организации (в сбросах появятся изотопы урана) и, возможно, даже к созданию дополнительных гидротехнических сооружений для отведения сточных вод. Все эти факторы являются условиями для пересмотра нормативов ДС даже в том случае, если у организации имеются действующие нормативы ДС.

В Методике [23] определены четыре критерия, исходя из одновременного соблюдения которых, должны устанавливаться нормативы ДС.

Первым критерием, который должен выполняться при разработке нормативов ДС в соответствии с Методикой [23], является не превышение значением годовой эффективной дозы облучения населения, обусловленной сбросами радиоактивных веществ, значения установленной для организации квоты на облучение от сбросов организацией радиоактивных веществ в водные объекты δ . Данная величина представляет собой долю от предела годовой эффективной дозы облучения населения, установленного пунктом 2 статьи 9 Федерального закона [7] и также приведенного в таблице 3.1 НРБ-99/2009 [16].

Суть понятия квоты подробно разъясняется в [4], поэтому здесь мы ограничимся лишь наглядной иллюстрацией этого понятия (рис. 2).

Значение ДС i -го радионуклида, сбрасываемых через n -ый источник сброса, при котором обеспечивается не превышение установленной для организации квоты на облучение от сбросов радиоактивных веществ в водные объекты, в соответствии с Методикой [23], рассчитывается по формуле:

$$ДС_{i,n}^{\text{доз}} = \min_l \left(\frac{1}{\sum_j \frac{\Phi_{i,n,j,l}}{(1+S_s \cdot K_{\text{нд},i,l}) \cdot \text{МУА}_{i,n,j,l}^{\text{доз}}}} \right), \quad (1)$$

где:

$\Phi_{i,n,j,l}$ – фактор разбавления для i -го радионуклида, сбрасываемого в водный объект из n -го источника сброса для j -го пути облучения критической группы лиц из населения на критическом участке l , год/ м^3 ;

$\text{МУА}_{i,n,j,l}^{\text{доз}}$ – максимальная удельная активность в воде i -го радионуклида, сбрасываемого в водный объект из n -го источника сброса для j -го пути облучения критической группы лиц из населения на критическом участке водоема l , при которой не превышает установленная для организации квота на облучение от сбросов δ , Бк/ м^3 ;

$K_{\text{нд},i,l}$ – коэффициент межфазного распределения для i -го радионуклида между водой и донными отложениями на критическом участке водоема l , $\text{м}^3/\text{кг}$;

S_s – концентрация взвеси донных отложений в водном объекте, $\text{кг}/\text{м}^3$.

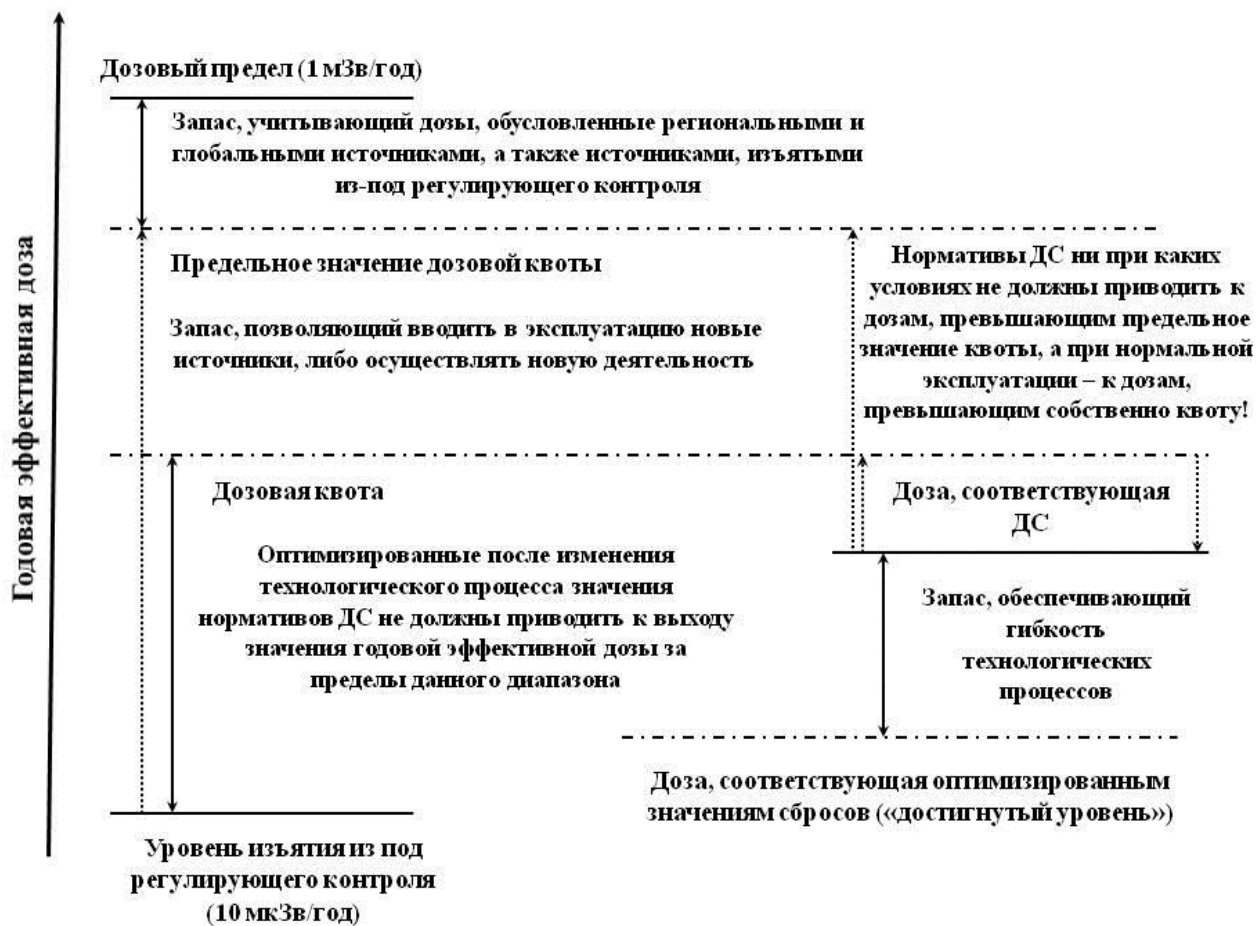


Рис. 2. Иллюстрация к понятию дозовой квоты

Под фактором разбавления в рамках Методики [23] понимается отношение концентрации i -го радионуклида в конкретной точке водоема, выраженной в Бк/м³, к годовому объему сброса этого радионуклида, выраженному в Бк/год.

Под критическими участками в рамках Методики [23] понимаются участки акватории водного объекта, входящего в состав водной системы, либо прилегающие к водному объекту участки территории, на которых осуществляется водопользование¹, приводящее к облучению лиц из населения. В соответствии с Методикой [23] выделяются два типа критических участков:

критические участки, определяемые расположением объектов водопользования (водозаборы для питьевого водоснабжения, места водопоя

¹ В соответствии с Федеральным законом [9] термин «водопользование» определен как использование различными способами водных объектов для удовлетворения потребностей Российской Федерации, субъектов Российской Федерации, муниципальных образований, физических лиц, юридических лиц.

скота, места отбора воды для полива, места добычи (вылова) водных биологических ресурсов, рыбопромысловые и рыбоводные участки, пляжи и другие места отдыха населения);

критические участки, определяемые максимальным загрязнением контрольного объекта (например, рыбы, донных отложений и др.).

В Методике [23] описан порядок расчета факторов разбавления для различных типовых элементов, в виде комбинаций которых может быть представлена реальная водная система. Такими типовыми элементами являются:

1) однородные потоки – водные объекты, являющиеся водотоками, или участками таких водных объектов, на которых имеется выраженное течение, отсутствуют резкие изменения глубины и ширины, направление осредненной скорости постоянно по всей глубине, количество воды, приносимое боковыми притоками, мало (менее 20 %) по сравнению с расходом основного потока и отсутствуют устойчивые водоворотные области (рис. 3);

2) однородные водоемы – водные объекты, являющиеся водоемами с площадями поверхности не более 400 км² (рис. 3);

3) большие водоемы – водные объекты, являющиеся водоемами с площадями поверхности более 400 км² (рис. 3).

Основными путями облучения населения, учет которых необходим при расчете , в соответствии с Методикой [23] являются:

внешнее облучение: купание, добыча (вылов) водных биологических ресурсов, изъятие объектов аквакультуры, удовлетворение личных и бытовых нужд (пребывание на пляже, пребывание в поймах рек, пребывание на орошаемых сельскохозяйственных угодьях);

внутреннее облучение: потребление продукции из водных биоресурсов и объектов аквакультуры, потребление питьевой воды, водопой скота (потребление молока и мяса), потребление плодоовощной продукции с орошаемых сельскохозяйственных угодий, выпас скота на орошаемых пастбищах (потребление молока и мяса), вдыхание загрязненной пыли при проведении сельскохозяйственных работ.

Окончательный набор путей облучения, которые необходимо учитывать при расчете нормативов , определяется на основании исследований видов водопользования водной системы.



Рис. 3. Примеры различных типов водоемов: 1 – река (однородный поток),
2 – пруд-охладитель АЭС (однородный водоем),
3 – озеро Имандра (большой водоем)

Характерной особенностью Методики [23] является отсутствие в ней значений ряда радиозэкологических параметров, необходимых для расчета $MUA^{доз}$ по путям внешнего и внутреннего облучения. В Методике [23] содержатся лишь общие формулы для определения этих параметров. Таким образом, у разработчика нормативов ДС имеется свобода выбора используемых моделей в зависимости от уровня потенциальной радиационной опасности объекта и условий осуществления сбросов. Вместе с тем конкретные методы проведения таких расчетов и все необходимые справочные данные содержатся в [25].

Второй критерий, который должен быть учтен при установлении нормативов ДС, связан с требованием обеспечения надежной изоляции твердых РАО от окружающей среды, установленным в разделе 2 НП-058-14 [22]. Значения удельной активности радионуклидов в донных отложениях должны ограничиваться с целью недостижения ими предельных значений удельной активности радионуклидов (ПЗУА) в твердых от-

ходах, при превышении которых твердые отходы относятся к РАО, установленных в постановлении Правительства Российской Федерации [26]. 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, в Методике [23] в качестве одного из критериев установления нормативов ДС принята недопустимость превышения значениями удельной активности радионуклидов в донных отложениях значений удельной активности техногенных радионуклидов, при которой допускается неограниченное использование материалов (далее – УАНИ) за счет сбросов одной организации. Для техногенных радионуклидов значения УАНИ установлены в [27], а для материнских радионуклидов природного происхождения (например, для ^{234}U , ^{235}U или ^{238}U) в Методике [23] установлено значение 10 Бк/г, принятое в соответствии с положениями документа МАГАТЭ [28].

Значение ДС i -го радионуклида, сбрасываемого в водный объект через n -ый источник сброса, при котором обеспечивается непревышение значением его удельной активности в донных отложениях значения УАНИ, в соответствии с Методикой [23], рассчитывается по формуле:

$$ДС_{i,n}^{\text{ДО}} = \min_l \left(\frac{\text{УАНИ}_i}{0,1 \cdot K_{\text{нд},i,l} \cdot (1 + S_s \cdot K_{\text{нд},i,l})^{-1} \cdot \frac{1 - e^{-\lambda_i \cdot T_e}}{\lambda_i \cdot T_e} \cdot \Phi_{i,n,l}} \right), \quad (2)$$

где: $\Phi_{i,n,l}$ – фактор разбавления для i -го радионуклида, сбрасываемого в водный объект из n -го источника сброса на критическом участке l , год/м³;

T_e – эффективное время накопления радионуклида в донных отложениях водного объекта, принимаемое равным 1 году;

λ_i – постоянная распада i -го радионуклида, год⁻¹;

УАНИ_i – удельная активность i -го радионуклида, при которой допускается неограниченное использование материалов, содержащих данный радионуклид, Бк/г (таблица № 2).

Следующий критерий, который должен быть учтен при разработке нормативов ДС в соответствии с Методикой [23], направлен на гарантированное предотвращение сброса РАО в водные объекты, запрет на который установлен статьей 51 [5]. Для этой цели в Методике [23] используется ограничение на объемную активность радионуклидов в сбросах. Объемная активность радионуклидов в сбросах не должна превышать величины

$0,1 \cdot A_i^{\text{РАО}}$, Бк/г, где $A_i^{\text{РАО}}$ – минимальное значение удельной активности данного радионуклида в отходах, на основании которого жидкие отходы относятся к РАО, установленное в [26]. Таким образом, в Методике [23] накладывается следующее ограничение на ДС:

$$ДС_{i,n}^{\text{ОА}} \leq V_{\text{min},n} \cdot A_i^{\text{РАО}} \cdot 10^5, \quad (3)$$

где: $ДС_{i,n}^{\text{ОА}}$ – предельное значение ДС, при котором не будут превышены величины $0,1 \cdot A_i^{\text{РАО}}$ (таблица № 2);

$V_{\text{min},n}$ – минимальный годовой объем сброса через источник сбросов n , при котором не будут превышены величины $0,1 \cdot A_i^{\text{РАО}}$.

В случае если водный объект, в который осуществляется сброс радиоактивных веществ, используется для целей питьевого водоснабжения, то, в соответствии с пунктом 5.3.5 [16], необходимо соблюдение требования о непревышении допустимых значений содержания радионуклидов в питьевой воде [16].

Значение ДС i -го радионуклида, сбрасываемого в водный объект через n -ый источник сброса, при котором обеспечивается непревышение допустимых значений содержания радионуклидов в питьевой воде, в соответствии с Методикой [23] рассчитывается по формуле:

$$ДС_{i,n}^{\text{ПВ}} = \frac{10^3 \cdot УВ_i}{\Phi_{i,n}}, \quad (4)$$

где: $\Phi_{i,n}$ – фактор разбавления для i -го радионуклида на критическом участке, где осуществляется забор воды для нужд питьевого водоснабжения, год/м³;

$УВ_i$ – уровень вмешательства для i -го радионуклида, Бк/кг (таблица № 2).

Здесь следует дать небольшое пояснение. Для радионуклидов, входящих в перечень, утвержденный распоряжением Правительства Российской Федерации [12], для которых значения $УВ$ отсутствуют в приложении 2а к [16], эти значения могут быть получены путем деления предела годовой эффективной дозы облучения населения (1 мЗв/год в соответствии с [16]) на десятикратное произведение годового потребления воды лицом из критической группы «взрослые» (730 кг(л)/год в соответствии с [16]) на дозовый коэффициент при поступлении с пищей, мЗв/Бк (приложение 2 к [16]) (такие значения в таблице № 2 отмечены символом «*»), поскольку значения $УВ$ для радионуклидов, приведенных в приложении

2а к [16], определены аналогичным образом. Что касается радионуклидов, входящих в перечень, утвержденный распоряжением Правительства Российской Федерации [12], для которых значения A^{PAO} отсутствуют в [26], эти значения могут быть определены как $100 \cdot УВ$ (за исключением 3H). Данное соотношение очевидным образом следует из сопоставления значений A^{PAO} , приведенных в [26], и значений $УВ$, приведенных в приложении 2а к [16] (такие значения в таблице № 2 отмечены символом «**»).

Таблица № 2

Значения УАНИ, $0,1 \cdot A^{PAO}$ и УВ для радионуклидов, в отношении которых применяются меры государственного регулирования

р/н	УАНИ, Бк/г	УВ, Бк/кг	$0,1 \cdot A^{PAO}$, Бк/г
^{241}Am	$1,00 \cdot 10^{-1}$	$6,90 \cdot 10^{-1}$	$6,90 \cdot 10^{-3}$
^{140}Ba	$1,00 \cdot 10^0$	$5,30 \cdot 10^1$	$5,00 \cdot 10^{-2}$
3H	$1,00 \cdot 10^2$	$7,60 \cdot 10^3$	$1,00 \cdot 10^2$
^{67}Ga	$1,00 \cdot 10^2$	$1,14 \cdot 10^2 *$	$1,14 \cdot 10^0 **$
^{152}Eu	$1,00 \cdot 10^{-1}$	$9,80 \cdot 10^1$	$9,80 \cdot 10^{-1}$
^{154}Eu	$1,00 \cdot 10^{-1}$	$6,90 \cdot 10^1$	$6,90 \cdot 10^{-1}$
^{155}Eu	$1,00 \cdot 10^0$	$4,30 \cdot 10^2$	$4,30 \cdot 10^0$
^{55}Fe	$1,00 \cdot 10^3$	$4,20 \cdot 10^2$	$4,20 \cdot 10^0$
^{59}Fe	$1,00 \cdot 10^0$	$7,60 \cdot 10^1$	$7,60 \cdot 10^{-1}$
^{198}Au	$1,00 \cdot 10^1$	$1,40 \cdot 10^2$	$1,40 \cdot 10^0$
^{111}In	$1,00 \cdot 10^1$	$4,70 \cdot 10^2$	$4,70 \cdot 10^0$
^{192}Ir	$1,00 \cdot 10^0$	$9,80 \cdot 10^1$	$9,80 \cdot 10^{-1}$
^{123}I	$1,00 \cdot 10^2$	$6,50 \cdot 10^2$	$6,50 \cdot 10^0$
^{129}I	$1,00 \cdot 10^{-2}$	$1,30 \cdot 10^0$	$1,30 \cdot 10^{-2}$
^{131}I	$1,00 \cdot 10^1$	$6,20 \cdot 10^0$	$6,20 \cdot 10^{-2}$
^{132}I	$1,00 \cdot 10^1$	$4,72 \cdot 10^2$	$4,72 \cdot 10^0 **$
^{133}I	$1,00 \cdot 10^1$	$3,19 \cdot 10^1 *$	$3,10 \cdot 10^{-1}$
^{135}I	$1,00 \cdot 10^1$	$1,47 \cdot 10^2 *$	$1,47 \cdot 10^0 **$
^{42}K	$1,00 \cdot 10^2$	$3,18 \cdot 10^2 *$	$3,10 \cdot 10^0$
^{45}Ca	$1,00 \cdot 10^2$	$1,90 \cdot 10^2$	$1,90 \cdot 10^0$
^{47}Ca	$1,00 \cdot 10^1$	$8,60 \cdot 10^1$	$8,60 \cdot 10^{-1}$
^{57}Co	$1,00 \cdot 10^0$	$6,50 \cdot 10^2$	$6,5 \cdot 10^0$
^{58}Co	$1,00 \cdot 10^0$	$1,90 \cdot 10^2$	$1,90 \cdot 10^0 **$
^{140}La	$1,00 \cdot 100$	$6,90 \cdot 100$	$6,00 \cdot 10^{-2}$
^{54}Mn	$1,00 \cdot 10^{-1}$	$1,93 \cdot 10^2$	$1,93 \cdot 100 **$
^{99}Mo	$1,00 \cdot 10^1$	$2,20 \cdot 10^2$	$2,20 \cdot 100$
^{22}Na	$1,00 \cdot 10^{-1}$	$4,30 \cdot 100$	$4,30 \cdot 10^{-2}$
^{24}Na	$1,00 \cdot 10^1$	$6,50 \cdot 100 *$	$6,50 \cdot 10^{-2} **$
^{237}Np	$1,00 \cdot 100$	$1,30 \cdot 100$	$1,30 \cdot 10^{-2}$
^{63}Ni	$1,00 \cdot 10^2$	$9,10 \cdot 10^2$	$9,10 \cdot 100$
^{95}Nb	$1,00 \cdot 100$	$2,40 \cdot 10^2$	$2,40 \cdot 100 **$

**Методическое пособие по вопросам регулирования выбросов
и сбросов радиоактивных веществ в окружающую среду**

р/н	УАНИ, Бк/г	УВ, Бк/кг	$0,1 \cdot A^{PAO}$, Бк/г
238Pu	1,00·10 ⁻¹	6,00·10 ⁻¹	6,00·10 ⁻³
239Pu	1,00·10 ⁻¹	5,50·10 ⁻¹	5,50·10 ⁻³
240Pu	1,00·10 ⁻¹	5,50·10 ⁻¹	5,50·10 ⁻³
241Pu	1,00·10 ¹	2,90·10 ¹	2,90·10 ⁻¹
210Po	1,00·10 ¹	1,10·10 ⁻¹	1,10·10 ⁻³
144Pr	1,00·10 ²	2,74·10 ³ *	2,74·10 ¹ **
147Pm	1,00·10 ³	5,30·10 ²	5,30·10 ⁰
226Ra	1,00·10 ¹	4,90·10 ⁻¹	4,90·10 ⁻³
222Rn	1,00·10 ¹	6,00·10 ¹	6,00·10 ⁻¹ **
197Hg	1,00·10 ²	6,00·10 ²	6,00·10 ⁰
103Ru	1,00·10 ⁰	1,90·10 ²	1,90·10 ⁰
106Ru	1,00·10 ⁻¹	2,00·10 ¹	2,00·10 ⁻¹
210Pb	1,00·10 ¹	2,00·10 ⁻¹	2,00·10 ⁻³
75Se	1,00·10 ⁰	5,30·10 ¹	5,30·10 ⁻¹
35S	1,00·10 ²	1,78·10 ²	1,78·10 ⁰
124Sb	1,00·10 ⁰	5,50·10 ¹	5,50·10 ⁻¹
125Sb	1,00·10 ⁻¹	1,20·10 ²	1,20·10 ⁰
201Tl	1,00·10 ²	1,40·10 ³	1,40·10 ¹ **
123mTe	1,00·10 ⁰	8,60·10 ¹	8,60·10 ⁻¹
99Tc	1,00·10 ⁰	2,10·10 ²	2,10·10 ⁰
99mTc	1,00·10 ²	6,23·10 ³ *	6,23·10 ¹ **
230Th	1,00·10 ¹	6,50·10 ⁻¹	6,50·10 ⁻³
231Th	1,00·10 ¹	4,00·10 ²	4,0·10 ⁰
232Th	1,00·10 ¹	6,00·10 ⁻¹	6,00·10 ⁻³
234Th	1,00·10 ¹	4,00·10 ¹	4,00·10 ⁻¹
14C	1,00·10 ⁰	2,40·10 ²	2,4·10 ⁰
232U	1,00·10 ⁻¹	4,20·10 ⁻¹	4,20·10 ⁻³
233U	1,00·10 ⁰	2,70·10 ⁰	2,70·10 ⁻²
234U	1,00·10 ¹	2,80·10 ⁰	2,80·10 ⁻²
235U	1,00·10 ¹	2,90·10 ⁰	2,90·10 ⁻²
236U	1,00·10 ¹	2,90·10 ⁰	2,90·10 ⁻²
238U	1,00·10 ¹	3,00·10 ⁰	3,00·10 ⁻²
32P	1,00·10 ³	5,70·10 ¹	5,70·10 ⁻¹
36Cl	1,00·10 ⁰	1,50·10 ²	1,50·10 ⁰
51Cr	1,00·10 ²	3,60·10 ³	3,60·10 ¹
134Cs	1,00·10 ⁻¹	7,20·10 ⁰	7,20·10 ⁻²
137Cs	1,00·10 ⁻¹	1,10·10 ¹	1,10·10 ⁻¹
141Ce	1,00·10 ²	1,90·10 ²	1,90·10 ⁻¹

С целью обеспечения выполнения всех вышеперечисленных условий в Методике [23] используется следующее соотношение для расчета нормативов ДС:

$$ДС_{i,n} = \min(ДС_{i,n}^{доз}, ДС_{i,n}^{ПВ}, ДС_{i,n}^{ДО}, ДС_{i,n}^{ОА}), \quad (5)$$

где – норматив допустимого сброса *i*-го радионуклида в водный объект из *n*-го источника ($n = 1 \dots N$).

Из соотношения (5) следует, что для различных радионуклидов ограничивающими факторами на величину их сброса могут быть различные друг от друга критерии из числа рассмотренных выше: дозовый критерий ($ДС^{доз}$), критерий по недопустимости превышения значениями удельной активности радионуклидов в донных отложениях значений УАНИ ($ДС^{ДО}$), критерий по недопустимости сброса РАО ($ДС^{ОА}$) или критерий по недопустимости загрязнения воды водного объекта выше УВ, установленных в приложении 2а к [16] ($ДС^{ПВ}$). Критериальная база Методики [23] проиллюстрирована на рис. 4.

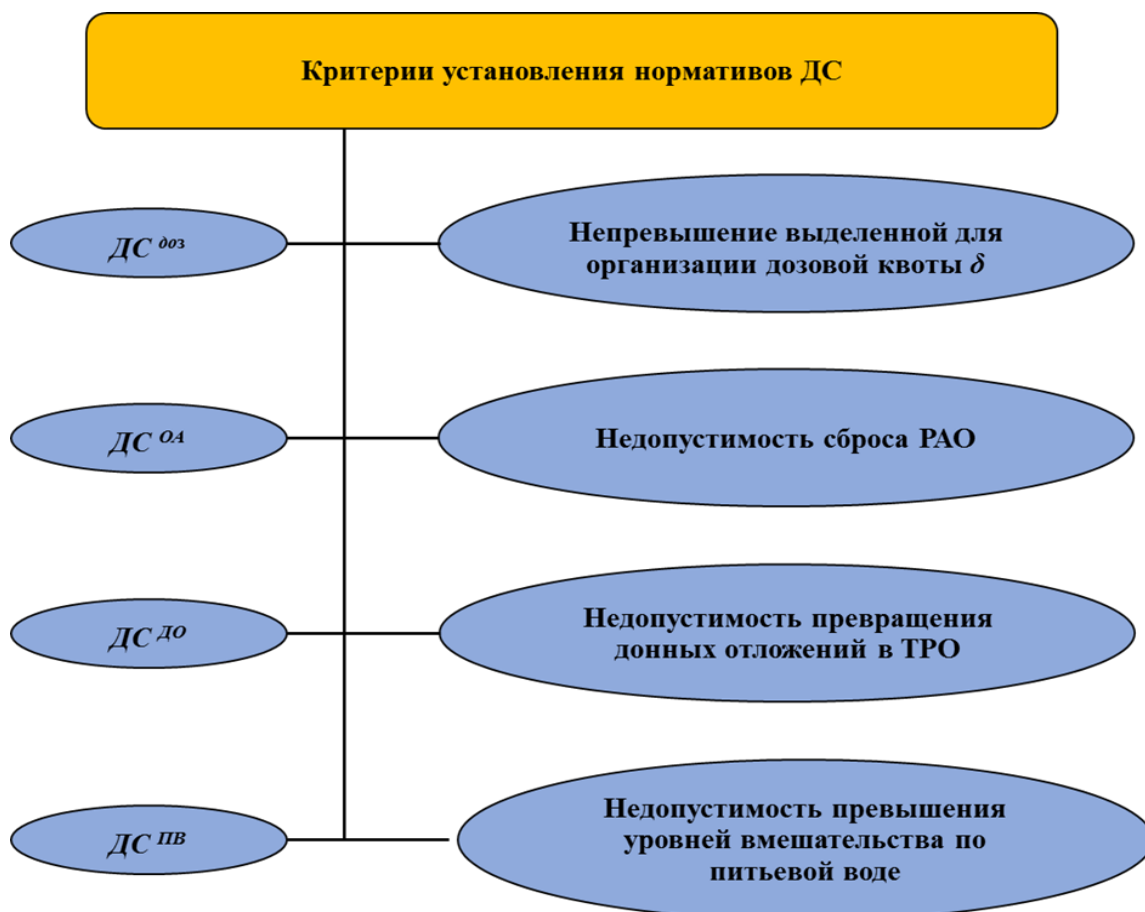


Рис. 4. Критерии установления нормативов ДС радиоактивных веществ в водные объекты

В соответствии с пунктом 11 [23] сброс i -го радионуклида удовлетворяет нормативам ДС при одновременном выполнении следующих условий:

$$\sum_{i,n} \frac{Q_{i,n}}{ДС_{i,n}^{\text{доз}}} \leq 1, \sum_{i,n} \frac{Q_{i,n}}{ДС_{i,n}^{\text{ПВ}}} \leq 1, \sum_{i,n} \frac{Q_{i,n}}{ДС_{i,n}^{\text{ДО}}} \leq 1, \sum_{i,n} \frac{Q_{i,n}}{ДС_{i,n}^{\text{ОА}}} \leq 1, \quad (6)$$

где $Q_{i,n}$ – годовой сброс i -го радионуклида из n -го источника, Бк/год.

Таким образом, разработчик нормативов ДС при проверке того, удовлетворяют ли сбросы организации нормативам ДС для каждого сбрасываемого радионуклида, должен выполнить проверку именно того из соотношений (6), в котором указан ограничивающий по сбросу этого радионуклида критерий.

Следует сделать еще одно пояснение, касающееся области применения Методики [23]. Методика [23] разработана в соответствии с Федеральным законом [9], согласно которому термин «сточные воды» определен как дождевые, талые, инфильтрационные, поливомоечные, дренажные воды, сточные воды централизованной системы водоотведения и другие воды, отведение (сброс) которых в водные объекты осуществляется после их использования или сток которых осуществляется с водосборной площади.

Вместе с тем существует отдельная ветвь российского законодательства, оперирующая термином «сточные воды» – это законодательство в области водоснабжения и водоотведения, основные положения которого определяются Федеральным законом от 7 декабря 2011 г. «О водоснабжении и водоотведении» № 416-ФЗ [29]. В статье 2 [29] определен термин «сточные воды централизованной системы водоотведения», под которым понимаются принимаемые от абонентов в централизованные системы водоотведения воды, а также дождевые, талые, инфильтрационные, поливомоечные, дренажные воды, если централизованная система водоотведения предназначена для приема таких вод. Сама же централизованная система водоотведения определена в [29] как «комплекс технологически связанных между собой инженерных сооружений, предназначенных для водоотведения».

Таким образом, если в [9] под сточными водами понимаются все типы вод, сброс которых осуществляется в водный объект, то в [29] – это воды, непосредственно сбрасываемые организацией в централизованную систему водоотведения. Методика [23] устанавливает ограничения на активность сточных вод, сбрасываемых данной организацией в водный объект, и ограничения на содержание радиоактивных веществ в воде данного

водного объекта (критерии $ДС^{ОА}$ и $ДС^{ПВ}$), но не устанавливает ограничений на содержание радиоактивных веществ в водах, сбрасываемых в централизованную систему водоотведения, и на содержание радиоактивных веществ в воде централизованной системы водоотведения. Таким образом, в этом случае нормативы ДС и разрешение на сбросы радиоактивных веществ должна получать организация, осуществляющая сброс непосредственно в водный объект («Водоканал»), а регулирование ее взаимоотношений с предприятием, сбрасывающим радиоактивные вещества в централизованную систему водоотведения, определяется в рамках соответствующих договоров.

Стоит также отметить, что для р. Теча, подвергшейся радиоактивному загрязнению в результате аварии на ФГУП «ПО «Маяк» 29 сентября 1957 г., а также предшествующей этому событию деятельности предприятия, в Методике [23] установлен особый порядок нормирования радиоактивных сбросов.

Река Теча в пределах Челябинской области является водным объектом с ограниченным водопользованием вследствие ее загрязнения радиоактивными веществами. Так, на р. Теча в пределах Челябинской области запрещены следующие виды водопользования:

забор (изъятие) водных ресурсов для питьевого и хозяйственного водоснабжения, а также для орошения земель сельскохозяйственного назначения, в том числе лугов и пастбищ;

купание;

рыболовство, охота;

полив садовых, огородных, дачных земельных участков, ведение личного подсобного хозяйства, а также водопой, проведение работ по уходу за сельскохозяйственными животными;

использование для рекреационных целей;

организованный отдых;

забор (изъятие) водных ресурсов при осуществлении аквакультуры (рыбоводства);

осуществление аквакультуры (рыбоводства) и акклиматизации водных биологических ресурсов;

проведение дноуглубительных, взрывных, буровых и других работ, связанных с изменением дна и берегов водного объекта.

В связи с вышеизложенным, в соответствии с пунктом 13 Методики [23], для установления нормативов ДС радиоактивных веществ в р. Теча необходимо руководствоваться принципом не превышения допустимой удельной активности $0,1 \cdot A_i^{РАО}$ воды (таблица № 2) в контрольном створе

Муслимово р. Теча, а также принципом непревышения в контрольном створе Красноисетское р. Исеть уровней вмешательства по содержанию радионуклидов в питьевой воде (таблица № 2), установленных в [16].

2.2. Методы расчета радиоэкологических параметров

Как уже отмечалось выше, разработка руководства по безопасности [25] обусловлена в первую очередь тем, что в Методике [23] даны лишь общие соотношения для расчета $MUA^{доз}$ по путям внешнего и внутреннего облучения, однако данные соотношения не отражают специфику расчетов этих величин для конкретных путей внешнего или внутреннего облучения.

В разделе II [25] рассмотрены методы расчета $MUA^{доз}$ для следующих путей облучения:

внешнее облучение: купание, добыча (вылов) водных биологических ресурсов, пребывание на пляже, пребывание в поймах рек, пребывание на орошаемых сельскохозяйственных угодьях;

внутреннее облучение: потребление рыбы, потребление молока и мяса скота, в организм которого радионуклиды попадают за счет водопоя, потребление молока и мяса скота, в организм которого радионуклиды попадают за счет его выпаса на орошаемых пастбищах, потребление питьевой воды, заглатывание воды при купании.

Для выполнения расчетов $MUA^{доз}$ для вышеуказанных путей облучения требуется знание большого количества радиоэкологических параметров, характерных для каждого радионуклида и различных для пресной и морской воды, в том числе: коэффициента межфазного распределения радионуклида между водой и почвой, коэффициента межфазного распределения радионуклида между водой и донными отложениями, коэффициента накопления радионуклида в рыбе.

Рекомендуемые значения этих коэффициентов приведены в приложении 2 к [25] на основе публикаций международных организаций и опыта стран с развитой атомной энергетикой.

Рассмотрим более подробно физический смысл упомянутых коэффициентов. Время пребывания радионуклидов в водных объектах сильно зависит от взаимодействия ионов соответствующих химических элементов со взвешенными твердыми частицами и от интенсивности их осаждения. Поступление радионуклидов в биоту зависит от концентрации и особенностей радионуклидов, оставшихся в растворенной фазе. Распределение радионуклидов между водой и взвешенными частицами часто описывается в терминах коэффициентов межфазного распределения $K_{нд}$, выра-

женных как отношения концентраций радионуклидов в взвешенной фазе донных отложений (Бк/кг) к концентрации радионуклидов в воде (Бк/л).

Сорбция радионуклидов взвешенными твердыми частицами обусловлена несколькими, как быстрыми, так и медленными кинетическими процессами (например, процессы окисления, образование химических связей, миграция катионов в структуру донных отложений). Кинетика взаимодействия радионуклида на границе раздела между водой и твердыми взвешенными частицами зависит от элемента, а также от других факторов – концентрации взвешенных частиц, ионной силы раствора, длительности загрязнения и др. На сорбцию некоторых радионуклидов в воде также влияет время года – так называемый «сезонный эффект».

Приведенные в [25] значения коэффициентов распределения $K_{нд}$ для пресной воды взяты на основе документа МАГАТЭ [30]. В свою очередь, представленная в [30] база коэффициентов основана на результатах полевых и лабораторных измерений, приведенных в [31], а также на данных публикации [32], при этом объем проведенных измерений для различных химических элементов, согласно [30], различен. В связи с этим значения $K_{нд}$ в [30] представлены для каждого химического элемента в виде диапазонов (таблицы 53 и 54 [30]) с указанием среднего и стандартного геометрических отклонений. В таблице № 3 приложения № 2 к [25] приведены либо средние арифметические, либо средние геометрические значения из таблиц 53 и 54 [30].

Значения коэффициентов распределения $K_{нд}$ для морской воды, приведенные в таблице № 4 приложения № 2 к [25], основаны на данных, представленных в документе МАГАТЭ [33], где, в отличие от [30], представлены не диапазоны измерений $K_{нд}$, а конкретные рекомендуемые значения этих величин (таблица II [33]).

Значения коэффициентов распределения радионуклидов между водой и почвой K_d , в соответствии с [25], пропорциональны значениям коэффициентов $K_{нд}$ (формула (4) [25]). Данное соотношение было получено из анализа соотношения, связывающего концентрации радионуклидов в почве прибрежных территорий и концентрацию радионуклидов в донных отложениях, приведенного в пункте 4.7.5 документа МАГАТЭ [34].

Значения коэффициентов накопления радионуклидов в пресноводной и морской рыбе K_p , приведенные в [25], также основаны на данных, представленных в [30] и [33]. Данные коэффициенты представляют собой отношение концентрации радионуклидов в воде к концентрации в рыбе.

В [30] значения коэффициентов K_p приведены в виде диапазонов с указанием среднего арифметического (в случае если число представительных проб равно двум) либо среднего геометрического (в случае если

число представительных проб более двух) значений и в таблице № 5 приложения № 2 к [25] представлены именно эти средние значения из таблицы 57 [30]. В [33] приведены конкретные рекомендуемые средние значения коэффициентов K_p и эти же значения приведены в таблице № 6 приложения № 2 к [25].

Для расчета $MUA^{доз}$ для ряда путей внутреннего облучения в соответствии с [25] требуется выполнить расчет коэффициентов перехода по пищевым цепочкам, модели для расчета которых, приведенные в [25], взяты на основе данных [34].

Коэффициенты перехода по пищевым цепочкам для путей внутреннего облучения, связанных с потреблением плодоовощной продукции с орошаемых земель, молока и мяса скота, в организм которого радионуклиды попадают за счет выпаса на орошаемых пастбищах, в соответствии с [25], рассчитываются с использованием коэффициентов Fv , FvI , F^{milk} и F^{meat} , рекомендуемые значения которых представлены в таблице № 7 приложения № 2 к [25]. Значения этих коэффициентов в [25] приведены на основе данных [34]. Рассмотрим более подробно физический смысл этих коэффициентов.

В соответствии с [34] коэффициент Fv характеризует переход радионуклидов из корневого слоя почвы в сырую массу плодоовощной культуры, непосредственно потребляемую человеком в пищу. Коэффициент FvI характеризует переход радионуклидов из корневого слоя почвы в сухую массу растения, потребляемого скотом. Коэффициенты F^{milk} и F^{meat} характеризуют доли активности радионуклида (от суточного потребления корма скотом), попадающие в литр молока или килограмм мяса. Стоит отметить, что при расчете коэффициентов перехода по пищевым цепочкам для путей облучения, связанных с потреблением молока и мяса скота, в организм которого радионуклиды попадают за счет выпаса на орошаемых пастбищах, в [25] и [34] учитывается не только непосредственно выпас скота, но и его стойловое содержание.

Следует подчеркнуть, что значения всех коэффициентов, необходимых для расчета $MUA^{доз}$, в [25] приводятся только для тех радионуклидов и элементов, которые включены в перечень, утвержденный распоряжением Правительства Российской Федерации [12].

В разделе III руководства по безопасности [25] приведены рекомендации по определению перечня радионуклидов, для которых устанавливаются нормативы ДС (радионуклиды, которые в совокупности формируют не менее 99 % дозы облучения населения), а также рекомендации по методам контроля сбросов.

Согласно пункту 7 Методики [23] для установления необходимости нормирования источника сбросов требуется оценить создаваемую им дозу облучения населения без учета рассеивания, то есть дозу облучения, создаваемую непосредственно радиоактивными сточными водами, разбавление которых водами водного объекта, в который они сбрасываются, не учитывается. В случае если такая доза превышает 10 мкЗв, источник подлежит нормированию. Дозу без учета рассеивания можно определить с помощью простого соотношения:

$$H_{\text{о.п.}}^n = \sum_i F_{\text{ing}}^i \cdot Q_{i,n}, \quad (7)$$

где F_{ing}^i – коэффициент дозового преобразования при пероральном пути поступления i -го радионуклида для возрастной группы, являющейся критической по данному пути, Зв/Бк (в [25] рекомендуется значения этих коэффициентов принимать в соответствии с приложением 2 к [16]).

Следует обратить внимание на следующий вопрос, связанный с установлением необходимости нормирования источника сбросов, а именно – каким образом выполнять оценку дозы без учета рассеивания в случае, если фактическое содержание радионуклида в сбросе не превышает нижний порог обнаружения используемых методик выполнения измерений?

В пункте 30 руководства по безопасности [25] рекомендуется в таких случаях принимать значение сброса радионуклида равным половине произведения нижнего порога обнаружения используемой аппаратурой данного радионуклида на годовой объем сброса. Данный подход соответствует подходу МАГАТЭ, описанному в документе МАГАТЭ [35].

Если значение рассчитанной без учета рассеивания дозы превысило 10 мкЗв, то источник подлежит нормированию и далее требуется сформировать перечень сбрасываемых из него радионуклидов, для которых требуется устанавливать нормативы ДС. Для этого в соответствии с пунктом 7 Методики [23] следует оценить суммарную годовую эффективную дозу облучения населения с учетом рассеивания радионуклидов в водной системе, с учетом воздействия всех сбрасываемых радионуклидов и с учетом всех характерных для района размещения организации путей облучения населения, а затем оценить вклад, вносимый в эту дозу каждым отдельным радионуклидом. После этого, согласно подпункту 2) пункта 29 руководства по безопасности [25], рекомендуется выполнить последовательное суммирование отношений, умноженных на 100 % и упорядоченных по величине от больших к меньшим значениям, начиная с больших,

до тех пор, пока сумма не достигнет значения, установленного в пункте 7 [23], а именно – 99 %.

Оценить годовую эффективную дозу облучения населения за счет сбросов источника можно следующим образом.

Обозначим как размерный коэффициент $A_{j,i}$ следующее соотношение:

$$A_{j,i} = \frac{\delta}{\text{МУА}_i^j}, \quad (8)$$

где: МУА_i^j – максимальная удельная активность i -го радионуклида в воде водного объекта для пути облучения населения j , Бк/м³;

δ – квота, выделенная организации на облучение от сбросов, Зв/год.

МУА_i^j могут быть рассчитаны с помощью рекомендованных в руководстве по безопасности [25] соотношений (1) – (3), (5) – (14) и (22).

Далее рассчитанные значения коэффициентов $A_{j,i}$ следует умножить на концентрацию радионуклидов в воде, определяемую как произведение объема сброса (Бк/год) на фактор разбавления (год/м³), получив тем самым значения доз для каждого радионуклида i , обусловленных различными путями облучения j , после чего, выполнив суммирование по путям облучения, следует рассчитать годовые эффективные дозы облучения населения для каждого радионуклида H_i . После этого для оценки вклада i -го радионуклида в годовую эффективную дозу остается лишь рассчитать отношения $\frac{H_i}{\sum_i H_i}$.

Пример расчета нормативов ДС с использованием Методики [23] и руководства по безопасности [25] приведен в главе 3 настоящей части методического пособия.

В заключении главы уделим внимание еще нескольким вопросам, имеющим отношение к регулированию сбросов. В первую очередь рассмотрим вопрос контроля сбросов. В соответствии с пунктом 41 [22] для контроля сбросов радиоактивных веществ должны быть установлены контрольные уровни сбросов за сутки и за месяц, при этом величины контрольных уровней должны быть ниже значений ДС и периодически (не реже, чем один раз в пять лет) пересматриваться. Кроме того, для каждого источника сбросов должны регистрироваться величины контролируемых параметров сбросов, в том числе расход сбрасываемой среды, качественный и количественный радионуклидный состав, суммарная активность радионуклидов в сбросе, усредненная за сутки, за месяц, за год. Раздел III, а также приложение № 3 к руководству по безопасности [25] содержат ре-

комендации по установлению контрольных уровней сбросов за сутки, месяц и год.

Рассмотрим связь между соблюдением нормативов ДС и обеспечением безопасности ОИАЭ. В соответствии с требованиями ФНП к обеспечению безопасности различных ОИАЭ [18], [19], [20] и [21], в проектах этих ОИАЭ должны быть определены пределы безопасной эксплуатации (далее – ПБЭ) и эксплуатационные пределы (далее – ЭП). Согласно вышеупомянутым документам, ПБЭ определены как значения параметров технологического процесса, отклонения от которых могут привести к аварии, а ЭП – как значения параметров и характеристик состояния систем (элементов) и ОИАЭ в целом, заданные проектом ОИАЭ для нормальной эксплуатации. В соответствии с определениями термина «авария», приведенными в [18], [19], [20], аварией является нарушение нормальной эксплуатации, при котором произошел выход радиоактивных веществ, ядерных материалов и (или) ионизирующего излучения за границы, предусмотренные проектной документацией ОИАЭ для нормальной эксплуатации в количествах, превышающих установленные пределы. Немного иначе термин «авария» определен в [21] – в соответствии с этим документом радиационной аварией является потеря управления радиационным источником, вследствие которой произошел выход радиоактивных веществ за границы, предусмотренные в проектной и (или) технической (эксплуатационной) документации на радиационный источник, и (или) облучение персонала и (или) населения свыше установленных норм.

К ПБЭ и ПЭ, установленным в проекте ОИАЭ, относятся в числе прочих ПБЭ и ПЭ по параметру, характеризующему величины сбросов радионуклидов.

Следует отметить, что, поскольку в соответствии со статьей 23 [5] сбросы радиоактивных веществ допускаются в пределах установленных нормативов ДС, установление ПБЭ по параметру, характеризующему величину сброса радиоактивного вещества, выше норматива ДС не допускается.

Что же касается установления эксплуатационных пределов по величине сбросов радионуклидов, то из определений, приведенных выше, следует, что они должны устанавливаться ниже ПБЭ, а, следовательно, и ниже ДС.

Например, для АС с реакторами типа ВВЭР, в соответствии с рекомендациями руководства по безопасности [36], ЭП по параметру, характеризующему сброс i -го радионуклида за год, можно принимать равными $1/5$ от норматива ДС для данного радионуклида:

$$\text{ЭП}_{\text{год}}^{i,n} = \frac{\text{ДС}_{i,n}}{5}, \quad (9)$$

где $\text{ДС}_{i,n}$ – допустимый сброс i -го радионуклида из n -го источника, Бк/год.

Число «5» в знаменателе формулы (9) подобрано таким образом, чтобы при осуществлении сброса радионуклида на уровне $\text{ЭП}_{\text{год}}$ не превышалась 1/5 от установленной в [37] квоты на облучение от сбросов при нормальной эксплуатации (50 мкЗв), то есть нижняя граница дозы облучения населения от отдельного радиационного фактора, при достижении которой нет необходимости в дальнейшей оптимизации радиационной защиты населения от облучения при нормальной эксплуатации АС (минимально значимая доза равна 10 мкЗв в соответствии с пунктом 5.10 [37]).

Еще одним вопросом, которому, безусловно, следует уделить внимание, является установление контрольных уровней содержания радионуклидов в компонентах природной среды. В соответствии с Федеральным законом [5] (статья 1, пункты 18, 19, 22; статья 19, пункт 1; статья 23, пункт 1) при соблюдении природоохранных нормативов, к которым в числе прочих относятся и нормативы допустимых сбросов радиоактивных веществ, должны обеспечиваться условия сохранения благоприятной окружающей среды и экологической безопасности, достаточные для устойчивого функционирования естественных экологических систем, природных и природно-антропогенных объектов, а также условия сохранения биологического разнообразия.

В основе Методики [23] лежит антропоцентрический принцип (подход), то есть «защищен человек – защищена биота». Данный принцип был сформулирован еще в 70-х гг. XX века и он лежит как в основе российского законодательства в области охраны окружающей среды, так и в основе международных подходов [28]. Вместе с тем в настоящее время предпринимаются значительные международные усилия по дополнению антропоцентрического принципа экоцентрическим [38] (в сочетании с экологическими критериями безопасности). При этом экоцентрический принцип также нашел свое отражение в Методике [23] (пункт 9 [23]). Более подробно антропоцентрический и экоцентрический подходы описаны в [4].

Экоцентрический подход в отношении нормирования сбросов радиоактивных веществ нашел применение в документе рекомендательного характера [39], выпущенном в 2016 г. Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидрометом).

В [39] содержатся рекомендации по расчету контрольных уровней содержания радионуклидов в морских и пресных водах. Методология

определения контрольных уровней содержания радионуклидов, рекомендуемая [39], основана на принципе порогового воздействия ионизирующего излучения на организмы, отличные от человека. Согласно [39] для определения данных контрольных уровней рекомендуется выбирать группы представительных видов биоты, для которых оценивается радиационное воздействие. В качестве таких объектов в [39] рекомендуется выбирать рыбу (придонную, пелагическую), ракообразных, моллюсков, водные растения, водоплавающих птиц, морских, пресноводных и обитающих на суше млекопитающих (мелких и крупных). При оценке воздействия на данные объекты биоты в [39] рекомендуется учитывать как внутреннее облучение от накопленных ими радионуклидов, так и внешнее облучение от компонентов природной среды, в частности, от загрязненных радионуклидами воды и донных отложений.

В качестве контрольного уровня содержания радионуклидов в пресноводной и морской биоте в [39] рекомендуется принимать минимальное из рассчитанных по радиационно-гигиеническому и экологическому критериям значение:

$$A_{i,\min} = \min(A_{i,\text{чел}}, A_{i,k,\text{эк}}), \quad (10)$$

где: $A_{i,\min}$ – значение контрольного уровня содержания i -го радионуклида, Бк/л;

$A_{i,\text{чел}}$ – контрольный уровень i -го радионуклида в воде по радиационно-гигиеническому критерию, Бк/л, рассчитываемый исходя из непревышения значением дозы облучения населения, создаваемой данным радионуклидом за счет потребления морепродуктов (рыбы, моллюсков, ракообразных), десяти процентов от установленного в [16] значения предела годовой эффективной дозы облучения населения;

$A_{i,k,\text{эк}}$ – контрольный уровень i -го радионуклида в воде по экологическому критерию, Бк/л, рассчитываемый исходя из непревышения критерия предельно допустимого радиационно-экологического воздействия на объект биоты k .

Критерии предельно допустимого радиационно-экологического воздействия на объекты биоты (референтные уровни облучения объектов биоты), мГр/сут, в частности, определены в публикации МКРЗ [40].

ГЛАВА 3. ПРИМЕР РАСЧЕТА НОРМАТИВОВ ДОПУСТИМЫХ СБРОСОВ

В данной главе рассмотрен комплексный пример выполнения расчета нормативов сбросов радиоактивных веществ в водные объекты для гипотетической организации (далее – Организация), осуществляющей сброс радиоактивных веществ сразу в несколько водных объектов разных типов: водоток (назовем его, например, р. Черная), однородный водоем (назовем его, например, пруд-охладитель) и большой водоем (назовем его, например, оз. Белое), в соответствии с Методикой [23] и с использованием методов расчета радиоэкологических параметров, рекомендуемых руководством по безопасности [25]. Данный пример, безусловно, не является всеобъемлющим, однако он позволит читателю более детально разобраться в требованиях [23] и рекомендациях [25].

Предположим, что Организация имеет в своем составе 3 выпуска сточных радиоактивных вод (№ 1, № 2, № 3), сбрасываемых в вышеупомянутые водоемы, радионуклидный состав и расход которых представлены в таблице № 3. В таблице № 4, в свою очередь, приведены значения гидрологических характеристик данных водоемов.

Квоту на облучение населения от сбросов радиоактивных веществ Организации примем равной 50 мкЗв/год.

Таблица № 3

**Величины расходов сточных вод и радионуклидный состав сбросов из выпусков
№ 1, № 2 и № 3**

Источник сброса	Расход сточных вод Q_{disch} , м ³ /год (м ³ /с)	Радионуклид	Годовой сброс, Бк/год
Выпуск № 1 (р. Черная)	3·10 ⁹ (95,24)	¹³⁴ Cs	3,9·10 ¹⁰
		¹³⁷ Cs	2,9·10 ⁶
		⁹⁰ Sr	1,8·10 ⁵
		³ H	2,4·10 ⁹
Выпуск № 2 (пруд-охладитель)	2,5·10 ⁸ (7,94)	¹³⁷ Cs	4,1·10 ⁷
		⁶⁰ Co	2,0·10 ⁶
		⁹⁰ Sr	9,5·10 ⁴
Выпуск № 3 (оз. Белое)	1,7·10 ³ (5,4·10 ⁻⁵)	¹⁰⁶ Ru	2,7·10 ⁷
		¹³⁷ Cs	<МДА*

* НПО для ¹³⁷Cs составляет 0,29 Бк/м³.

Гидрологические характеристики водных объектов – приемников сбросов радиоактивных веществ

Параметр	Обозначение	Значение
р. Черная		
Среднегодовая скорость водотока, м/с	V	1
Глубина водотока, соответствующая минимальному за последние 30 лет расходу воды с учетом притоков, м	H	5
Ширина водотока, м	B	20
Минимальный за последние 30 лет расход воды с учетом притоков, м ³ /год	Q_{riv}	$3,0 \cdot 10^{10}$
Концентрация взвеси донных отложений, кг/м ³	S_s	$2,0 \cdot 10^{-2}$
пруд-охладитель		
Площадь, км ²	S	4,9
Глубина, м	H	7,6
Объем водоема, соответствующий минимальной за 30 лет проточности, м ³	V_p	$3,8 \cdot 10^7$
Минимальная за последние 30 лет проточность водоема, м ³ /год	W_s	$7,7 \cdot 10^7$
Годовой фильтрационный расход водоема, м ³ /год	W_f	$6,3 \cdot 10^6$
Безвозвратные потери на технические нужды, м ³ /год	W_t	$9,0 \cdot 10^5$
Годовое испарение воды из водоема, м ³ /год	W_e	$6,0 \cdot 10^7$
Концентрация взвеси донных отложений, кг/м ³	S_s	$5,0 \cdot 10^{-2}$
оз. Белое		
Глубина в области точки сброса, м	D	16
Скорость прибрежного течения, м/с	U	0,1
Концентрация взвеси донных отложений, кг/м ³	S_s	$4,1 \cdot 10^{-3}$

Описание режимов водопользования водных объектов и определение потенциальных путей облучения населения

1. Водопользование р. Черная

Предположим, что в 1,5 км ниже по течению р. Черная от выпуска № 1 расположен населенный пункт (назовем его, например, с. Мурино) и что местным населением вода из этой реки используется для следующих хозяйственных и рекреационных целей:

- питьевого водоснабжения (в среднем 270 л/год на человека);
- полива выращиваемых сельскохозяйственных культур;
- орошения пастбищ, на которых осуществляется выпас крупного рогатого скота, а также водопоя скота;
- рекреационных целей (купания, рыбной ловли, отдыха на прибрежной территории).

2. Водопользование пруда-охладителя

Предположим, что местным населением водоем-охладитель используется преимущественно для рыбной ловли с берега. Купание в воде водоема-охладителя запрещено, сельскохозяйственные угодья и пастбища, расположенные вблизи водоема-охладителя, отсутствуют.

3. Водопользование оз. Белое

Предположим, что на расстоянии 2 км по береговой линии от источника сбросов (выпуск № 3) расположен объект рекреационного назначения (назовем его, например, турбаза «Заря»), населенные пункты на берегу оз. Белое отсутствуют. Таким образом, вода озера используется исключительно для рекреационных целей – купания, отдыха на пляже, рыбной ловли, плавания на лодках.

4. Время, затрачиваемое на виды водопользования в течение года

В таблице № 5 представлены значения времени, затрачиваемого на различные виды водопользования, выраженные в долях года.

Таблица № 5

**Время, затрачиваемое на различные виды водопользования, выраженное
в долях года**

Вид водопользования	τ
Купание	0,011
Рыболовство	0,022
Пребывание на пляже	0,022
Пребывание в пойме (на заливных землях)	0,046
Пребывание на орошаемых территориях	0,046

5. Потенциальные пути облучения населения

Проанализировав информацию о видах водопользования водных объектов, в которые осуществляются сбросы радиоактивных веществ Организации, можно выделить следующие пути облучения, учет которых необходим для разработки нормативов ДС в соответствии с Методикой [23]:

для р. Черная: купание, рыбная ловля, пребывание на пляже, пребывание на заливных территориях (в пойме р. Черная), пребывание на орошаемых территориях, потребление рыбы, потребление воды, потребление овощей с орошаемых территорий, потребление мяса и молока скота, в организм которого радионуклиды попадают за счет водопоя и выпаса на орошаемых пастбищах, заглатывание воды при купании;

для пруда-охладителя: рыбная ловля (с берега, поскольку движение плавсредств в водах данного водного объекта запрещено), потребление рыбы;

для оз. Белое: купание, рыбная ловля, пребывание на пляже, потребление рыбы, заглатывание воды при купании.

Определение факторов разбавления

1. Определение факторов разбавления для р. Черная

Согласно пункту 26 Методики [23] на расстоянии x от выпуска № 1, меньшем $7 \cdot H$ (менее 35 м), фактор разбавления рассчитывается по формуле:

$$\Phi = \Phi_1 = \frac{1}{3,15 \cdot 10^7 \cdot Q_{disch}} = \frac{1}{3,15 \cdot 10^7 (\%_{год}) \cdot 95,24 (\text{м}^3/\text{с})} = 3,33 \cdot 10^{-10} \text{ год}/\text{м}^3. \quad (11)$$

На расстоянии более $7 \cdot H$ от выпуска № 1 фактор разбавления, в соответствии с Методикой [23], представляет собой следующую функцию, зависящую от расстояния x :

$$\Phi = \Phi_2 = \frac{1}{3,15 \cdot 10^7 (Q_{riv} + Q_{disch})} \left[1 + 2 \cdot \left(\sum_{n=1}^{\infty} e^{-\frac{n^2 \cdot \pi^2 \cdot (x+\xi) \cdot D_{тур}}{B^2 \cdot V}} \right) \cdot \cos\left(\frac{z_s \cdot n \cdot \pi}{B}\right) \cdot \cos\left(\frac{z \cdot n \cdot \pi}{B}\right) \right], \quad (12)$$

где:

$D_{тур}$ – коэффициент турбулентной дисперсии в поперечном к сечению реки направлении z , $\text{м}^2/\text{с}$;

z_s – поперечная координата точки сброса, м;

z – поперечная координата водотока, м;

ξ – параметр, который в соответствии с Методикой [23] определяется по следующему соотношению:

$$\xi = \begin{cases} \mu - 7 \cdot H, & \text{если } \Phi_2(x=7 \cdot H) > \Phi_1 \\ 0, & \text{если } \Phi_2(x=7 \cdot H) \leq \Phi_1 \end{cases}, \quad (13)$$

где μ – решение уравнения $\Phi_2(x) = \Phi_1$ в пределах от 0 до $7 \cdot H$ при ξ равном 0.

В целях консервативности проводимых расчетов предполагается, что источник сброса (выпуск № 1) расположен на берегу, а также, что купание в реке и рыбная ловля с использованием плавсредств осуществляется вблизи от берега. В этих условиях параметры z и z_s могут быть приняты равными 0.

Кроме того, на основании рекомендаций пункта 7 руководства по безопасности [25] количество членов ряда в формуле (12) примем равным 13.

Коэффициент турбулентной дисперсии в соответствии с Методикой [23] может быть определен по формуле:

$$D_{тур} = \alpha_{riv} \cdot H \cdot u_*, \quad (14)$$

где:

α_{riv} – коэффициент пропорциональности, который для р. Черной принимается равным 0,15;

u_* – значение скорости водотока у дна, которое в соответствии с Методикой [23] может быть принято равным одной десятой от скорости водотока.

Подставив все необходимые параметры в формулу (14), получим, что коэффициент турбулентной дисперсии $D_{тур}$ для р. Черная равен $0,075 \text{ м}^2/\text{с}$.

Выполнив теперь с учетом вышеуказанных допущений расчет Φ_2 по формуле (12) с ξ равным 0, получим, что значение $\Phi_2(7 \cdot H)$ составляет $2,1 \cdot 10^{-10} \text{ год}/\text{м}^3$, то есть меньше, чем Φ_1 . Таким образом, с учетом (13), параметр ξ в формуле (12) может быть принят равным 0.

Теперь фактор разбавления можно выразить в следующем виде:

$$\Phi(x) = \begin{cases} 3,33 \cdot 10^{-10}, & \text{если } x < 7 \cdot H \\ 3,034 \cdot 10^{-11} \cdot \left(1 + 2 \cdot \sum_{n=1}^{13} e^{-1,849 \cdot 10^{-3} \cdot n^2 \cdot x} \right), & \text{если } x \geq 7 \cdot H. \end{cases} \quad (15)$$

На рис. 5 представлен график зависимости фактора разбавления для р. Черная от расстояния.

Значение фактора разбавления в районе расположения с. Мурино, по результатам выполненной оценки, составило $3,41 \cdot 10^{-11} \text{ год}/\text{м}^3$

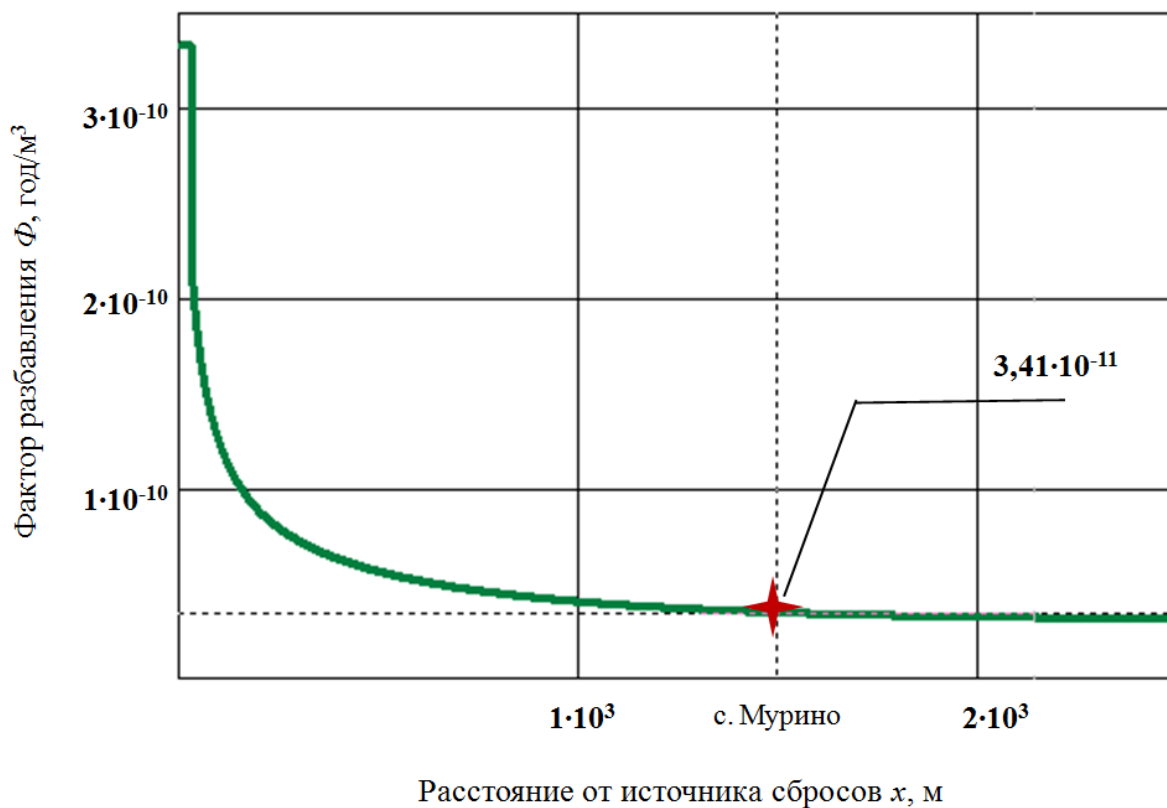


Рис. 5. Зависимость фактора разбавления для р. Черная от расстояния от точки сброса

2. Определение фактора разбавления для пруда-охладителя

В соответствии с пунктом 27 Методики [23] фактор разбавления i -го радионуклида для однородного водоема рассчитывается по формуле:

$$\Phi_i = [W_s + W_f + W_i + W_e + \lambda_i \cdot V_p]^{-1}, \quad (16)$$

где λ_i – постоянная распада i -го радионуклида, год⁻¹ (таблица № 1).

Остальные входящие в формулу (16) величины описаны в таблице 4. Стоит отметить, что в соответствии с [23] параметр W_e для всех радионуклидов, за исключением ³H, должен приниматься равным 0, а для ³H – равным годовому испарению воды из водоема, но, поскольку в сбросах в пруд-охладитель данный радионуклид отсутствует, слагаемое W_e может быть принятым равным 0.

Постоянные распада λ_i для входящих в состав сброса радионуклидов составляют 0,023 год⁻¹ для ¹³⁷Cs, 0,132 год⁻¹ для ⁶⁰Co и 0,024 год⁻¹ для ⁹⁰Sr.

Подставив все необходимые значения в формулу (16) получим, что для радионуклидов ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr значение фактора разбавления составит $1,18 \cdot 10^{-8}$ год/м³, а для ⁶⁰Co – $1,12 \cdot 10^{-8}$ год/м³.

3. Определение фактора разбавления для оз. Белое

В соответствии с пунктом 27 Методики [23] для больших водоемов фактор разбавления i -го радионуклида рассчитывается по формуле:

$$\Phi_i = \frac{962 \cdot U^{0,17}}{D \cdot x^{1,17}} \cdot \exp\left[\frac{-7,28 \cdot 10^5 \cdot U^{2,34} \cdot y_0^2}{x^{2,34}}\right] \cdot \exp\left(-\frac{\lambda_i \cdot x}{U}\right), \quad (17)$$

где:

y_0 – расстояние от береговой линии до точки сброса по нормали к береговой линии, м;

λ_i – постоянная распада i -го радионуклида, с⁻¹.

Описание остальных входящих в формулу (17) величин приведено в таблице № 4.

В целях консервативности в расчетах предполагается, что источник сброса (выпуск № 3) расположен на берегу оз. Белое, поэтому параметр y_0 в формуле (17) принимается равным нулю, и, таким образом, формула (17) примет вид:

$$\Phi_i = \frac{962 \cdot U^{0,17}}{D \cdot x^{1,17}} \cdot \exp\left(-\frac{\lambda_i \cdot x}{U}\right). \quad (18)$$

В соответствии с Методикой [23] формулы (17) и (18) могут применяться только в случае, если одновременно выполняются условия:

$$\frac{y - y_0}{x} \ll 3,7 \text{ и } 7 \cdot D < x, \quad (19)$$

где y – расстояние от береговой линии до точки, где определяется фактор разбавления, м.

В рамках рассматриваемого примера предполагается, что купание, рыбная ловля с лодки, плавание на катамаранах в районе расположения турбазы «Заря» осуществляются вблизи от берега, поэтому, принимая во внимание также тот факт, что турбаза расположена в двух километрах от источника сбросов, очевидно, что оба из условий (19) выполняются.

Значения λ_i составляют $2,15 \cdot 10^{-8} \text{ с}^{-1}$ для ^{106}Ru и $7,29 \cdot 10^{-10} \text{ с}^{-1}$ для ^{137}Cs .

Подставив все необходимые значения в формулу (18), получим, что для обоих радионуклидов значение фактора разбавления в воде оз. Белое составит $5,58 \cdot 10^{-3} \text{ с/м}^3$ ($1,77 \cdot 10^{-10} \text{ год/м}^3$).

Установление необходимости нормирования источников сбросов и определение перечней нормируемых радионуклидов

1. Определение источников сбросов, подлежащих нормированию

В соответствии с пунктом 7 Методики [23] для определения того, подлежит ли источник сбросов нормированию, необходимо выполнить оценку создаваемой им годовой эффективной дозы облучения населения без учета рассеивания.

Годовая эффективная доза облучения населения, создаваемая i -ым радионуклидом, сбрасываемым в водный объект из n -го источника, без учета рассеивания для всех радионуклидов, за исключением ^3H , может быть рассчитана по формуле:

$$H_{w.d.,i}^n = F_{ing}^i \cdot Q_{i,n}, \quad (20)$$

где $Q_{i,n}$ – величина сброса i -го радионуклида из n -го источника, Бк/год;

F_{ing}^i – коэффициент дозового преобразования при пероральном пути поступления i -го радионуклида для возрастной группы, являющейся критической по данному пути, Зв/Бк (для всех радионуклидов, за исключением ^3H , значения коэффициента в соответствии с [16] приведены в таблице № 6).

В таблице № 6 также приведены значения коэффициентов дозового преобразования для внешних путей облучения, поскольку их использование потребуется при проведении дальнейших расчетов. Для трития значения этих коэффициентов в данной таблице не приводятся, поскольку для

данного радионуклида необходимо использовать обособленные методы расчета доз и МУА.

Таблица № 6

Коэффициенты дозового преобразования для путей внутреннего и внешнего облучения

Радионуклид	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁶⁰ Co	¹³⁴ Cs	¹⁰⁶ Ru
F_{ing}^i , Зв/Бк [16]	$1,30 \cdot 10^{-8}$	$8,00 \cdot 10^{-8}$	$2,70 \cdot 10^{-8}$	$1,90 \cdot 10^{-8}$	$4,90 \cdot 10^{-8}$
$F_{i,ext}$, (Зв·м ³)·(Бк·с) ⁻¹	$5,83 \cdot 10^{-17}$	$9,87 \cdot 10^{-19}$	$2,57 \cdot 10^{-16}$	$1,64 \cdot 10^{-16}$	$2,19 \cdot 10^{-17}$
f_i , (Зв·м ²)·(Бк·с) ⁻¹	$5,79 \cdot 10^{-16}$	$1,64 \cdot 10^{-18}$	$2,30 \cdot 10^{-15}$	$1,52 \cdot 10^{-15}$	$3,45 \cdot 10^{-16}$

Годовая эффективная доза облучения, обусловленная воздействием ³H, сбрасываемого из *n*-го источника, может быть оценена с помощью соотношения:

$$H_{w.d.,^3H}^n = 10^{-3} \cdot \frac{Q_{^3H,n}}{Q_{disch,n}} \cdot g_{^3H}, \quad (21)$$

где: $g_{^3H}$ – дозовый коэффициент для ³H, который, в соответствии с рекомендациями [25], может быть принят равным $2,6 \cdot 10^{-8}$ (Зв·л)/(Бк·год);

$Q_{^3H,n}$ – годовой сброс ³H в водный объект, Бк/год;

$Q_{disch,n}$ – расход сточных вод из *n*-го источника, м³/год.

Поскольку содержание ¹³⁷Cs в сбросах в оз. Белое не превышает нижний порог обнаружения (НПО), то, основываясь на рекомендациях пункта 30 [25], для него значение сброса принимается равным половине произведения расхода сточных вод на НПО, который, согласно таблице № 3 равен $0,29$ Бк/м³.

В таблице № 7 приведены результаты расчета годовой эффективной дозы без учета рассеивания для каждого из источников сброса.

Таблица № 7

**Результаты расчета годовых эффективных доз, создаваемых источниками сброса
Организации без учета рассеивания**

Источник сброса	Радионуклид	$H_{w.d.}$, Зв/год
Выпуск № 1 (р. Черная)	¹³⁴ Cs	$7,41 \cdot 10^2$
	¹³⁷ Cs	$3,80 \cdot 10^{-2}$
	⁹⁰ Sr	$1,40 \cdot 10^{-2}$
	³ H	$2,08 \cdot 10^{-11}$
	Сумма	$7,41 \cdot 10^2$
Выпуск № 2 (пруд-охладитель)	¹³⁷ Cs	$5,33 \cdot 10^{-1}$
	⁶⁰ Co	$5,40 \cdot 10^{-2}$
	⁹⁰ Sr	$8,00 \cdot 10^{-3}$
	Сумма	$5,95 \cdot 10^{-1}$
Выпуск № 3 (оз. Белое)	¹⁰⁶ Ru	$1,32 \cdot 10^0$
	¹³⁷ Cs	$3,21 \cdot 10^{-6}$
	Сумма	$1,32 \cdot 10^0$

Из таблицы № 7 следует, что для всех источников создаваемая ими годовая эффективная доза без учета рассеивания превышает 10 мкЗв/год, следовательно, в соответствии с пунктом 7 Методики [23], все данные источники должны нормироваться.

2. Определение перечней радионуклидов, подлежащих нормированию

Теперь перейдем к определению перечней радионуклидов, подлежащих государственному учету и нормированию, содержащихся в сбросах из выпусков № 1 – 3.

Для этого в соответствии с пунктом 7 Методики [23] для каждого источника сбросов требуется определить создаваемую им годовую эффективную дозу с учетом рассеивания (учитывая при этом все возможные пути облучения населения), затем оценить аналогичные дозы, создаваемые каждым из радионуклидов по отдельности, после чего рассчитать в процентах отношения доз по отдельным радионуклидам к суммарной дозе, после чего провести их суммирование в порядке убывания до тех пор, пока сумма не достигнет значения 99 %. Радионуклиды, попавшие в эту сумму, подлежат государственному учету и нормированию.

1) определение перечня нормируемых радионуклидов в сбросах из выпуска № 1

Доза облучения населения, обусловленная купанием в р. Черная, для всех радионуклидов, за исключением ^3H , может быть рассчитана по формуле:

$$H_{i,l}^{swim} = Q_i \cdot \Phi_l \cdot 3,15 \cdot 10^7 \cdot F_{i,ext} \cdot \tau_{swim}, \quad (22)$$

где: Q_i – годовой сброс i -го радионуклида, Бк/год;

Φ_l – значение фактора разбавления на критическом участке l , год/м³;

$F_{i,ext}$ – дозовый коэффициент внешнего облучения, (Зв·м³)·(Бк·с)⁻¹ (таблица № 6);

$3,15 \cdot 10^7$ – количество секунд в году;

τ_{swim} – время, затрачиваемое на купание в течение года, выраженное в долях года (таблица № 5).

Значение фактора разбавления в прибрежной зоне в районе с. Мурино, как это было показано ранее, составляет $3,41 \cdot 10^{-11}$ год/м³.

Подставив все необходимые значения в формулу (22), получим, что годовые эффективные дозы облучения населения, обусловленные купанием в р. Черной, составят:

$7,56 \cdot 10^{-11}$ Зв/год для ^{134}Cs ;

$2,00 \cdot 10^{-15}$ Зв/год для ^{137}Cs ;

$2,10 \cdot 10^{-18}$ Зв/год для ^{90}Sr .

Доза внешнего облучения населения, обусловленная рыбной ловлей в р. Черная, для всех радионуклидов, за исключением ^3H , может быть рассчитана по формуле (23). Здесь стоит отметить, что в данном случае рассчитывается доза, получаемая рыбаками во время рыбалки на лодке (для случаев, когда рыбалка осуществляется с берега, далее будут рассмотрены пути «пребывание на пляже» и «пребывание в пойме»).

$$H_{i,l}^{fishing} = Q_i \cdot \Phi_l \cdot 3,15 \cdot 10^7 \cdot F_{i,ext} \cdot \tau_{fishing}, \quad (23)$$

где $\tau_{fishing}$ – время, затрачиваемое на купание в течение года, выраженное в долях года (таблица № 5).

Подставив все необходимые значения в формулу (23), получим, что годовые эффективные дозы облучения населения, обусловленные рыбной ловлей в р. Черной, составят:

$1,51 \cdot 10^{-10}$ Зв/год для ^{134}Cs ;

$4,00 \cdot 10^{-15}$ Зв/год для ^{137}Cs ;

$4,20 \cdot 10^{-18}$ Зв/год для ^{90}Sr .

Доза внешнего облучения населения, обусловленная пребыванием на пляже, расположенном на берегу р. Черная, для всех радионуклидов, за исключением ^3H , может быть рассчитана по формуле:

$$H_{i,l}^{beach} = Q_i \cdot \Phi_l \cdot 3,15 \cdot 10^7 \cdot 0,2 \cdot f_i \cdot \rho_s \cdot \Delta \cdot K_d^i \cdot \tau_{beach}, \quad (24)$$

где: f_i – дозовый коэффициент, равный мощности эквивалентной дозы от поверхностного загрязнения почвы i -ым радионуклидом с единичной поверхностной активностью, $(\text{Зв} \cdot \text{м}^2) \cdot (\text{Бк} \cdot \text{с})^{-1}$ (таблица № 6);

ρ_s – плотность загрязненной почвы, $\text{кг}/\text{м}^3$;

τ_{beach} – время, затрачиваемое на пребывание на пляже в течение года, выраженное в долях года (таблица № 5);

Δ – толщина загрязненного радионуклидами слоя почвы, м;

K_d^i – коэффициент межфазного распределения «вода-почва», $\text{м}^3/\text{кг}$.

В соответствии с [25], в случае отсутствия данных местных натурных исследований, плотность загрязненной почвы ρ_s может быть принята равной $1200 \text{ кг}/\text{м}^3$, толщина загрязненного слоя почвы Δ может быть принята равной $0,02 \text{ м}$, а коэффициент межфазного распределения «вода-почва» K_d^i может быть рассчитан по формуле:

$$K_d^i = 6 \cdot \frac{1 - e^{-\lambda_i \cdot T_e}}{\lambda_i \cdot T_e} \cdot K_{нд,i,l}, \quad (25)$$

где: λ_i – постоянная распада радионуклида, год⁻¹;

T_e – эффективное время накопления радионуклидов в донных отложениях, год;

$K_{нд,i,l}$ – коэффициент межфазного распределения i -го радионуклида между водой и донными отложениями, м³/кг.

В соответствии с рекомендациями [25] параметр T_e может быть принят равным одному году. Рекомендуемые [25] значения коэффициента $K_{нд,i,l}$ и рассчитанные по формуле (25) коэффициенты межфазного распределения «вода-почва» K_d^i для всех радионуклидов, входящих в состав сбросов из всех выпусков Организации, за исключением ³H, представлены в таблице № 8.

Таблица № 8

Значения коэффициентов межфазного распределения

Радионуклид	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁶⁰ Co	¹³⁴ Cs	¹⁰⁶ Ru
$K_{нд,i,l}$, м ³ /кг	2,90·10 ¹	1,20·10 ⁰	4,40·10 ¹	2,90·10 ¹	3,20·10 ¹
K_d^i , м ³ /кг	1,72·10 ²	7,11·10 ⁰	2,47·10 ²	1,48·10 ²	1,39·10 ²

Подставив все необходимые значения в формулу (24), получим, что годовые эффективные дозы облучения населения, обусловленные пребыванием на пляже р. Черной, составят:

9,94·10⁻⁷ Зв/год для ¹³⁴Cs;

3,28·10⁻¹¹ Зв/год для ¹³⁷Cs;

2,38·10⁻¹⁶ Зв/год для ⁹⁰Sr.

Доза облучения населения для пути внешнего облучения, связанного с пребыванием в пойме р. Черная, для всех радионуклидов, за исключением ³H, может быть рассчитана по соотношению, почти аналогичному (24):

$$H_{i,l}^{floodplain} = Q_i \cdot \Phi_l \cdot 3,15 \cdot 10^7 \cdot f_i \cdot \rho_s \cdot \Delta \cdot K_d^i \cdot \tau_{floodplain}, \quad (26)$$

где $\tau_{floodplain}$ – время, затрачиваемое на пребывание в пойме р. Черная в течение года, выраженное в долях года (таблица № 5).

Подставив все необходимые значения в формулу (26), получим, что годовые эффективные дозы облучения населения, обусловленные пребыванием в пойме р. Черной, составят:

1,04·10⁻⁵ Зв/год для ¹³⁴Cs;

3,43·10⁻¹⁰ Зв/год для ¹³⁷Cs;

2,49·10⁻¹⁵ Зв/год для ⁹⁰Sr.

Доза внешнего облучения населения, обусловленная пребыванием на орошаемых водой из р. Черная территориях, для всех радионуклидов, за исключением ^3H , может быть рассчитана по формуле (27):

$$H_{i,l}^{irr} = Q_i \cdot \Phi_l \cdot 3,15 \cdot 10^7 \cdot f_i \cdot q_{op} \cdot \frac{1 - e^{-\lambda_i \cdot T_{op}}}{\lambda_i} \cdot \tau_{irr}, \quad (27)$$

где: q_{op} – расход воды на орошение, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$;

T_{op} – длительность орошения, год;

λ_i – постоянная распада для i -го радионуклида, год^{-1} (таблица № 1);

τ_{irr} – время, затрачиваемое на пребывание на орошаемых территориях в течение года, выраженное в долях года (таблица № 5).

Согласно рекомендациям [25] значение параметра q_{op} принимается равным $0,475 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$, а длительность орошения T_{op} – равной 50 лет.

Подставив все необходимые значения в формулу (27), получим, что годовые эффективные дозы облучения населения, обусловленные пребыванием на территориях, орошаемых водой из р. Черная, составят:

$4,14 \cdot 10^{-9}$ Зв/год для ^{134}Cs ;

$1,17 \cdot 10^{-12}$ Зв/год для ^{137}Cs ;

$2,02 \cdot 10^{-16}$ Зв/год для ^{90}Sr .

Доза внутреннего облучения населения, обусловленная потреблением рыбы, выловленной из р. Черная, для всех радионуклидов, за исключением ^3H , может быть оценена по формуле (28):

$$H_{i,l}^{fish} = Q_i \cdot \Phi_l \cdot F_{ing}^i \cdot I_{i,fish} \cdot K_{P,i}, \quad (28)$$

где: $K_{P,i}$ – коэффициент накопления i -го радионуклида в рыбе, $\text{м}^3/\text{кг}$;

$I_{i,fish}$ – годовое потребление рыбы лицом из возрастной группы, которая является критической по пероральному пути поступления i -го радионуклида, $\text{кг}/\text{год}$.

Значения коэффициента $K_{P,i}$ в соответствии с [25] для всех радионуклидов, входящих в состав сбросов из всех выпусков Организации, за исключением ^3H , приведены в таблице № 9.

Таблица № 9

Коэффициенты накопления радионуклидов в рыбе

Радионуклид	^{137}Cs	^{90}Sr	^{60}Co	^{134}Cs	^{106}Ru
$K_{P,i}$, $\text{м}^3/\text{кг}$	$2,50 \cdot 10^0$	$2,90 \cdot 10^{-3}$	$7,6 \cdot 10^{-2}$	$2,50 \cdot 10^0$	$5,5 \cdot 10^{-2}$

Годовое потребление продукта лицом из критической возрастной группы, в соответствии с [25], может быть рассчитано по формуле:

$$I_{i,f} = \frac{E_g}{E_{g=6}} \cdot I_{f,g=6}, \quad (29)$$

где: f – индекс, обозначающий пищевой продукт (рыба, плодоовощная продукция, мясо или молоко);

g – возрастная группа, являющаяся критической по потреблению пищевого продукта (в соответствии с таблицей 8.1 [16] принимает следующие значения: 1 – «дети в возрасте до 1 года», 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»);

E_g – суточные энергетические затраты для возрастной группы g , 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», кг/год.

Рекомендуемые в [25] значения суточных энергетических затрат для различных возрастных групп представлены в таблице № 10.

Таблица № 10

Суточные энергетические затраты для различных возрастных групп населения

Возрастная группа (g)	2	3	4	5	6
Энергетические затраты, ккал/сут	1400	2000	2600	3100	2900

В таблице № 11 представлены значения годового потребления продуктов питания (рыбы, молока, мяса и овощей), которые понадобятся нам в дальнейшем для расчета доз по другим путям облучения для лиц из возрастной группы «взрослые» в соответствии с рекомендованным в [25] источником [41].

В таблице № 12 представлены рассчитанные по формуле (29) потребления продуктов лицами из критических возрастных групп.

Таблица № 11

Годовое потребление продуктов для лиц из возрастной группы «взрослые»

Продукт	Овощи	Рыба	Мясо	Молоко
$I_{f,g=6}$, кг/год	230	22	73	325

Годовое потребление продуктов лицами из критических возрастных групп населения

Радионуклид	Критическая группа	Потребление, кг/год			
		Овощи	Рыба	Мясо	Молоко
^{137}Cs	6	230	22	73	325
^{90}Sr	5	246	24	78	347
^{60}Co	2	111	11	35	157
^{134}Cs	6	230	22	73	325
^{106}Ru	2	111	11	35	157

Теперь перейдем к расчету дозы облучения, обусловленной потреблением рыбы. В соответствии с пунктом 26 Методики [23] при выполнении таких расчетов фактор разбавления должен рассчитываться по формуле (11), то есть при расчете дозы (а также и МУА в дальнейшем) по формуле (28) следует принимать фактор разбавления равным полученному ранее значению $3,33 \cdot 10^{-10}$ год/м³.

Подставив все необходимые значения в формулу (28), получим, что годовые эффективные дозы облучения населения, обусловленные потреблением рыбы, выловленной из р. Черной, составят:

$$\begin{aligned} & 1,36 \cdot 10^{-5} \text{ Зв/год для } ^{134}\text{Cs}; \\ & 6,91 \cdot 10^{-10} \text{ Зв/год для } ^{137}\text{Cs}; \\ & 3,34 \cdot 10^{-13} \text{ Зв/год для } ^{90}\text{Sr}. \end{aligned}$$

Доза внутреннего облучения населения, обусловленная потреблением плодоовощной продукции, для всех радионуклидов, за исключением ^3H , может быть оценена по формуле (30):

$$H_{i,l}^{veg} = Q_i \cdot \Phi_l \cdot F_{ing}^i \cdot I_{i,veg} \cdot K_{veg,i}, \quad (30)$$

где: $K_{veg,i}$ – коэффициент перехода радионуклидов из воды по пищевым цепочкам в плодоовощные культуры, м³/кг;

$I_{i,veg}$ – годовое потребление овощей лицом из возрастной группы, которая является критической по пероральному пути поступления i -го радионуклида, кг/год.

Коэффициент $K_{veg,i}$ в соответствии с [25] может быть рассчитан по формуле:

$$K_{veg,i} = \left(a_{op} \cdot \alpha_2 \cdot \frac{1 - e^{-(\lambda_i + \lambda_{s,i}) \cdot t_e}}{(\lambda_i + \lambda_w)} + Fv_i \cdot \frac{120}{365} \cdot a_{op} \cdot \frac{1 - e^{-(\lambda_i + \lambda_{s,i}) \cdot t_b}}{(\lambda_i + \lambda_{s,i}) \cdot \rho} \right) \cdot e^{-\lambda_i \cdot t_h}, \quad (31)$$

где: α_2 – фактор удержания для плодоовощных культур, потребляемых в пищу человеком, который, в соответствии с [25], рекомендуется принимать равным $0,3 \text{ м}^2/\text{кг}$ сырого веса;

t_e – период времени (в течение вегетационного периода), в течение которого происходит улавливание радиоактивных выпадений поверхностью растений, который в случае отсутствия данных местных натурных исследований, в соответствии с [25], рекомендуется принять равным 30 сут;

λ_w – постоянная величина, характеризующая снижение содержания радионуклидов на поверхности растений за счет всех процессов, за исключением радиоактивного распада, которую в случае отсутствия данных местных натурных исследований, в соответствии с [25], рекомендуется принять равной $0,05 \text{ сут}^{-1}$;

$\lambda_{s,i}$ – постоянная, характеризующая процессы снижения содержания радионуклидов в корневом слое почвы за счет всех процессов, за исключением радиоактивного распада, которую в случае отсутствия данных местных натурных исследований, в соответствии с [25], рекомендуется принять равной $0,00014 \text{ сут}^{-1}$ для изотопов цезия и стронция или равной нулю для остальных радионуклидов;

Fv_i – коэффициент перехода i -го радионуклида из корневого слоя почвы в съедобную часть растения, кг (сухой почвы)/кг (сырой массы растения);

t_b – параметр, равный $1,1 \cdot 10^4 \text{ сут}$ (30 лет);

ρ – поверхностная плотность корневого слоя почвы, которую в случае отсутствия данных местных натурных исследований, в соответствии с [25], для почвы, используемой для выращивания плодоовощной продукции, рекомендуется принять равной $130 \text{ кг}/\text{м}^2$;

t_h – время между сбором урожая и потреблением плодоовощных культур, которое в случае отсутствия данных местных натурных исследований, в соответствии с [25], рекомендуется принять равным 90 сут;

q_{op} – средний за поливной период (в случае отсутствия местных натурных исследований рекомендуется принимать равным 120 дням) расход воды на единицу площади почвы, который, в соответствии с [25], рекомендуется принимать равным $1,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$.

Значения коэффициента Fv_i , а также других радиоэкологических параметров, которые потребуются нам для расчета коэффициентов перехода радионуклидов по пищевым цепочкам для радионуклидов ^{134}Cs , ^{137}Cs и ^{90}Sr , взятые в соответствии с [25], приведены в таблице № 13.

Значения радиологических параметров для расчета коэффициентов перехода
радионуклидов по пищевым цепочкам

Радионуклид	^{137}Cs	^{90}Sr	^{134}Cs
F_{Vi}	$3,0 \cdot 10^{-1}$	$3,0 \cdot 10^{-1}$	$3,0 \cdot 10^{-1}$
$F_{\text{meat},i}^f$, сут/кг	$3,0 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-1}$
$F_{\text{milk},i}^m$, сут/л	$1,0 \cdot 10^{-1}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$
$K_{\text{meat}(wp),i}$, м ³ /кг	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$
$K_{\text{milk}(watering\ place),i}$, м ³ /кг	$6,0 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$6,0 \cdot 10^{-3}$
$Fv1_i$	$2,0 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^1$	$2,0 \cdot 10^1$

Значения коэффициента $K_{\text{veg},i}$, рассчитанные по формуле (31), составляют:

$4,36 \cdot 10^{-3}$ м³/кг для ^{134}Cs и ^{137}Cs ;

$4,31 \cdot 10^{-3}$ м³/кг для ^{90}Sr .

Значение фактора разбавления в районе с. Мурино, как было показано ранее, составляет $3,41 \cdot 10^{-11}$ год/м³.

Подставив все необходимые значения в формулу (30) получим, что годовые эффективные дозы облучения населения, обусловленные потреблением овощей с орошаемых водой р. Черная территорий, составят:

$2,53 \cdot 10^{-8}$ Зв/год для ^{134}Cs ;

$1,29 \cdot 10^{-12}$ Зв/год для ^{137}Cs ;

$5,21 \cdot 10^{-13}$ Зв/год для ^{90}Sr .

Дозы внутреннего облучения населения, обусловленные потреблением мяса и молока домашнего скота, в организм которого радиоактивные вещества попадают за счет водопоя, для всех радионуклидов, за исключением ^3H , могут быть оценены по формулам (32) и (33):

$$H_{i,l}^{\text{meat}(wp)} = Q_i \cdot \Phi_l \cdot F_{\text{ing}}^i \cdot I_{i,\text{meat}} \cdot K_{\text{meat}(wp),i}, \quad (32)$$

$$H_{i,l}^{\text{milk}(wp)} = Q_i \cdot \Phi_l \cdot F_{\text{ing}}^i \cdot I_{i,\text{milk}} \cdot K_{\text{milk}(wp),i}, \quad (33)$$

где: $K_{\text{meat}(wp),i}$ – коэффициент перехода i -го радионуклида из воды по пищевым цепочкам в мясо скота за счет водопоя, м³/кг;

$K_{\text{milk}(wp),i}$ – коэффициент перехода i -го радионуклида из воды по пищевым цепочкам в молоко скота за счет водопоя, м³/кг;

$I_{i,\text{meat}}$ – годовое потребление мяса лицом из возрастной группы, которая является критической по пероральному пути поступления i -го радионуклида, кг/год (таблица № 12);

$I_{i,milk}$ – годовое потребление молока лицом из возрастной группы, которая является критической по пероральному пути поступления i -го радионуклида, кг/год (таблица № 12).

Согласно [25] коэффициенты $K_{meat(wp),i}$ и $K_{milk(wp),i}$ могут быть рассчитаны по формулам:

$$K_{meat(wp),i} = F_{meat,i}^f \cdot Q_{meat}^w \cdot e^{-\lambda_i \cdot t_f}, \quad (34)$$

$$K_{milk(wp),i} = F_{milk,i}^m \cdot Q_{milk}^w \cdot e^{-\lambda_i \cdot t_m}, \quad (35)$$

где: $F_{meat,i}^f$ – доля активности i -го радионуклида (от суточного потребления корма скотом), которая попадает в килограмм мяса, сут/кг (таблица № 13);

$F_{milk,i}^m$ – доля активности i -го радионуклида (от суточного потребления корма скотом), которая попадает в литр молока, сут/л (таблица № 13);

Q_{milk}^w – суточный объем воды, потребляемый молочным скотом, который, в соответствии с [25], в случае отсутствия данных местных натуральных исследований рекомендуется принимать равным 0,06 м³/сут;

Q_{meat}^w – суточный объем воды, потребляемый мясным скотом, который, в соответствии с [25], в случае отсутствия данных местных натуральных исследований рекомендуется принимать равным 0,04 м³/сут;

t_m – время между надоем молока и его потреблением, которое, в соответствии с [25], в случае отсутствия данных местных натуральных исследований рекомендуется принимать равным 1 сут;

t_f – время между забоем скота и потреблением мяса, которое, в соответствии с [25], в случае отсутствия данных местных натуральных исследований рекомендуется принимать равным 20 сут.

Рассчитанные по формулам (34) и (35) коэффициенты перехода приведены в таблице № 14.

Таблица № 14

**Значения коэффициентов, необходимых для расчета доз облучения,
обусловленных потреблением молока и мяса домашнего скота,
в организм которого радионуклиды попадают за счет водопоя**

Радионуклид	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	¹³⁴ Cs
$K_{meat(wp),i}$, М ³ /КГ	1,2·10 ⁻²	4,0·10 ⁻⁴	1,2·10 ⁻²
$K_{milk(wp),i}$, М ³ /КГ	6,0·10 ⁻³	1,8·10 ⁻⁴	6,0·10 ⁻³

Дозы внутреннего облучения населения, обусловленные потреблением мяса и молока домашнего скота, в организм которого радиоактивные вещества попадают за счет водопоя, рассчитанные по формулам (32) и (33), приведены в таблице № 15.

Таблица № 15

Дозы облучения, обусловленные потреблением молока и мяса домашнего скота, в организм которого радиоактивные вещества попадают за счет водопоя

Радионуклид	^{137}Cs	^{90}Sr	^{134}Cs
$H_{i,l}^{\text{meat}(wp)}$, Зв/ГОД	$1,13 \cdot 10^{-12}$	$1,53 \cdot 10^{-14}$	$2,21 \cdot 10^{-8}$
$H_{i,l}^{\text{milk}(wp)}$, Зв/ГОД	$2,51 \cdot 10^{-12}$	$3,07 \cdot 10^{-14}$	$4,93 \cdot 10^{-8}$

Дозы внутреннего облучения населения, обусловленные потреблением мяса и молока домашнего скота, в организм которого радиоактивные вещества попадают за счет выпаса на орошаемых пастбищах, для всех радионуклидов, за исключением ^3H , могут быть оценены по формулам (36) и (37):

$$H_{i,l}^{\text{meat},\text{past}} = Q_i \cdot \Phi_l \cdot F_{\text{ing}}^i \cdot I_{i,\text{meat}} \cdot K_{\text{meat}(\text{pasture}),i}, \quad (36)$$

$$H_{i,l}^{\text{milk},\text{past}} = Q_i \cdot \Phi_l \cdot F_{\text{ing}}^i \cdot I_{i,\text{meat}} \cdot K_{\text{milk}(\text{pasture}),i}, \quad (37)$$

где: $K_{\text{meat}(\text{pasture}),i}$ – коэффициент перехода i -го радионуклида из воды по пищевым цепочкам в мясо скота за счет выпаса на орошаемых землях, м³/кг;

$K_{\text{milk}(\text{pasture}),i}$ – коэффициент перехода i -го радионуклида из воды по пищевым цепочкам в молоко скота за счет выпаса на орошаемых землях, м³/кг.

Коэффициенты $K_{\text{meat}(\text{pasture}),i}$ и $K_{\text{milk}(\text{pasture}),i}$, согласно [25], могут быть рассчитаны по формулам:

$$K_{\text{meat}(\text{pasture}),i} = K_{\text{forage},i} \cdot F_{\text{meat},i}^f \cdot Q_{\text{meat}}^f \cdot e^{-\lambda_i \cdot t_f}, \quad (38)$$

$$K_{\text{milk}(\text{pasture}),i} = K_{\text{forage},i} \cdot F_{\text{milk},i}^m \cdot Q_{\text{milk}}^m \cdot e^{-\lambda_i \cdot t_m}, \quad (39)$$

где: $K_{\text{forage},i}$ – коэффициент перехода i -го радионуклида из загрязненной воды в корм, потребляемый скотом, м³/кг сухого веса;

Q_{meat}^f – суточная масса корма, потребляемая мясным скотом (в случае отсутствия данных местных натуральных исследований, согласно [25], рекомендуется принимать равной 12 кг (сухого вещества)/сут);

Q_{milk}^m – суточная масса корма, потребляемая молочным скотом (в случае отсутствия данных местных натурных исследований, согласно [25], рекомендуется принимать равной 16 кг (сухого вещества)/сут);

Для расчета коэффициента $K_{forage,i}$ в [25] рекомендуется использование следующей формулы:

$$K_{forage,i} = K_{forage,i}^1 \cdot f_p + K_{forage,i}^2 \cdot (1 - f_p), \quad (40)$$

где: f_p – доля года, в течение которой скот питается подножным кормом (согласно [25], в случае отсутствия данных местных натурных исследований, рекомендуется принимать равной 0,7);

$K_{forage,i}^1$ – коэффициент перехода при выпасе скота, для расчета которого, согласно [25], может быть использована формула (41);

$K_{forage,i}^2$ – коэффициент перехода при стойловом содержании скота, для расчета которого, согласно [25], может быть использована формула (42).

$$K_{forage,i}^1 = q_{op} \cdot \alpha_1 \cdot \frac{1 - e^{-(\lambda_i + \lambda_{s,i}) \cdot t_e}}{(\lambda_i + \lambda_w)} + Fv1_i \cdot \frac{120}{365} \cdot q_{op} \cdot \frac{1 - e^{-(\lambda_i + \lambda_{s,i}) \cdot t_b}}{(\lambda_i + \lambda_{s,i}) \cdot \rho}, \quad (41)$$

$$K_{forage,i}^2 = \left(q_{op} \cdot \alpha_1 \cdot \frac{1 - e^{-(\lambda_i + \lambda_{s,i}) \cdot t_e}}{(\lambda_i + \lambda_w)} + Fv1_i \cdot \frac{120}{365} \cdot q_{op} \cdot \frac{1 - e^{-(\lambda_i + \lambda_{s,i}) \cdot t_b}}{(\lambda_i + \lambda_{s,i}) \cdot \rho} \right) \cdot e^{-\lambda_i \cdot t_h}, \quad (42)$$

где: α_1 – параметр, равный 3 м²/кг (сухого веса);

ρ – поверхностная плотность корневого слоя почвы, которую в случае отсутствия данных местных натурных исследований, в соответствии с [25], для почвы, используемой для пастбищ, рекомендуется принять равной 260 кг/м²;

$Fv1_i$ – коэффициент перехода i -го радионуклида из корневого слоя почвы в съедобную часть растения для пастбищ, кг (сухой почвы)/кг (сырой массы растения) (таблица № 13).

Результаты расчетов коэффициентов $K_{forage,i}^1$, $K_{forage,i}^2$, $K_{forage,i}$, $K_{meat(pasture),i}$, $K_{milk(pasture),i}$ представлены в таблице № 16.

Таблица № 16

Значения коэффициентов, необходимых для расчета доз облучения, обусловленных потреблением молока и мяса домашнего скота, в организм которого радионуклиды попадают за счет выпаса

Радионуклид	^{137}Cs	^{90}Sr	^{134}Cs
$K_{forage,i}^1$, М ³ /кг	0,15	0,07	0,15
$K_{forage,i}^2$, М ³ /кг	0,29	0,14	0,29
$K_{forage,i}$, М ³ /кг	0,19	0,09	0,19
$K_{meat(pasture),i}$, М ³ /кг	0,68	0,01	0,68
$K_{milk(pasture),i}$, М ³ /кг	0,90	0,02	0,90

Дозы внутреннего облучения населения, обусловленные потреблением мяса и молока домашнего скота, в организм которого радиоактивные вещества попадают за счет выпаса на орошаемых пастбищах, рассчитанные по формулам (36) и (37), приведены в таблице № 17.

Таблица № 17

Дозы облучения, обусловленные потреблением молока и мяса домашнего скота, в организм которого радиоактивные вещества попадают за счет его выпаса на орошаемых пастбищах

Радионуклид	^{137}Cs	^{90}Sr	^{134}Cs
$H_{i,l}^{meat,past}$, Зв/год	$6,38 \cdot 10^{-11}$	$3,83 \cdot 10^{-13}$	$1,25 \cdot 10^{-6}$
$H_{i,l}^{milk,past}$, Зв/год	$3,76 \cdot 10^{-10}$	$3,41 \cdot 10^{-12}$	$7,39 \cdot 10^{-6}$

Доза внутреннего облучения населения, обусловленная потреблением питьевой воды, для всех радионуклидов, за исключением ^3H , может быть оценена по формуле (43):

$$H_{i,l}^{WC} = Q_i \cdot \Phi_l \cdot F_{ing}^i \cdot 10^{-3} \cdot V_D, \quad (43)$$

где V_D – годовое потребление воды из р. Черная для питья (270 л/год на человека).

Подставив все необходимые значения в формулу (43), получим, что годовые эффективные дозы облучения населения, обусловленные потреблением питьевой воды, составят:

$$6,82 \cdot 10^{-9} \text{ Зв/год для } ^{134}\text{Cs};$$

$$3,47 \cdot 10^{-13} \text{ Зв/год для } ^{137}\text{Cs};$$

$$1,33 \cdot 10^{-13} \text{ Зв/год для } ^{90}\text{Sr}.$$

Доза внутреннего облучения населения, обусловленная заглатыванием воды при купании, может быть рассчитана с помощью следующего соотношения:

$$H_{i,l}^{WD} = Q_i \cdot \Phi_l \cdot F_{ing}^i \cdot V_{WD} \cdot \tau_{swim}, \quad (44)$$

где V_{WD} – объем воды, заглатываемой человеком при купании, м³/год (с учетом рекомендаций пункта 18 руководства по безопасности [25], значение величины $V_{WD} \cdot \tau_{swim}$ составит $4,72 \cdot 10^{-3}$ м³/год для детей до 17 лет и $2,02 \cdot 10^{-3}$ м³/год для взрослых).

Подставив все необходимые значения в формулу (44), и учитывая, что для ¹³⁷Cs и ¹³⁴Cs критической группой населения являются «взрослые», а для ⁹⁰Sr – «дети в возрасте 12–17 лет», получим, что годовые эффективные дозы облучения населения, обусловленные заглатыванием воды при купании в р. Черная, составят:

$$\begin{aligned} &5,11 \cdot 10^{-11} \text{ Зв/год для } ^{134}\text{Cs}; \\ &2,60 \cdot 10^{-15} \text{ Зв/год для } ^{137}\text{Cs}; \\ &2,32 \cdot 10^{-15} \text{ Зв/год для } ^{90}\text{Sr}. \end{aligned}$$

Годовая эффективная доза облучения населения, обусловленная воздействием ³H, может быть рассчитана с помощью соотношения (45), учитывающего сразу все возможные пути внешнего и внутреннего облучения:

$$H_{3H,l} = Q_{3H} \cdot \Phi_l \cdot g_{3H} \cdot 10^{-3}, \quad (45)$$

где g_{3H} – дозовый коэффициент для ³H, который согласно [25] может быть принят равным $2,6 \cdot 10^{-8}$ (Зв·л)/(Бк·год).

Годовые эффективные дозы облучения населения, обусловленные воздействием остальных радионуклидов, входящих в состав сбросов в р. Черная, рассчитываются путем суммирования доз облучения по всем рассмотренным путям облучения. Результаты расчета доз и оцененные вклады каждого из радионуклидов в суммарную годовую эффективную дозу представлены в таблице № 18.

Таблица № 18

Результаты расчета годовых эффективных доз облучения, обусловленных сбросами радионуклидов в р. Черная

Радионуклид	Годовая эффективная доза, Зв/год	Вклад в годовую эффективную дозу, %
¹³⁴ Cs	$3,37 \cdot 10^{-5}$	~100
¹³⁷ Cs	$1,51 \cdot 10^{-9}$	$4,48 \cdot 10^{-3}$
⁹⁰ Sr	$4,83 \cdot 10^{-12}$	$1,43 \cdot 10^{-5}$
³ H	$3,46 \cdot 10^{-11}$	$1,03 \cdot 10^{-4}$
Сумма	$3,37 \cdot 10^{-5}$	100

Из результатов расчета, представленных в таблице № 18, следует заключить, что вклад в годовую эффективную дозу более 99 % обусловлен

всего одним радионуклидом – ^{134}Cs , таким образом, только этот радионуклид в сбросах в р. Черная подлежит государственному учету и нормированию.

2) определение перечня нормируемых радионуклидов в сбросах из выпуска № 2

Поскольку нахождение/движение плавсредств в водах пруда-охладителя запрещено и ловля рыбы из пруда-охладителя осуществляется с берега, в этом случае доза облучения населения за счет рыбной ловли должна рассчитываться по формуле (24), вместо формулы (23), и с использованием τ_{fishing} , вместо τ_{beach} (таблица № 5).

Выполнив все необходимые арифметические действия, получим, что годовая эффективная доза облучения населения, обусловленная ловлей рыбы в пруде-охладителе, составит:

$$1,60 \cdot 10^{-7} \text{ Зв/год для } ^{137}\text{Cs};$$

$$4,23 \cdot 10^{-8} \text{ Зв/год для } ^{60}\text{Co};$$

$$4,35 \cdot 10^{-14} \text{ Зв/год для } ^{90}\text{Sr}.$$

Доза внутреннего облучения населения, обусловленная потреблением рыбы, рассчитывается по формуле (28). Подставив в эту формулу все необходимые значения, получим, что годовая эффективная доза облучения, обусловленная потреблением рыбы, выловленной из пруда-охладителя, составит:

$$3,46 \cdot 10^{-7} \text{ Зв/год для } ^{137}\text{Cs};$$

$$5,06 \cdot 10^{-10} \text{ Зв/год для } ^{60}\text{Co};$$

$$6,24 \cdot 10^{-12} \text{ Зв/год для } ^{90}\text{Sr}.$$

Результаты расчета доз и оцененные вклады каждого из радионуклидов в суммарную годовую эффективную дозу, обусловленную сбросами радиоактивных веществ в пруд-охладитель, представлены в таблице № 19.

Таблица № 19

Результаты расчета годовых эффективных доз облучения, обусловленных сбросами радионуклидов в пруд-охладитель

Радионуклид	Годовая эффективная доза, Зв/год	Вклад в годовую эффективную дозу, %
^{137}Cs	$5,06 \cdot 10^{-7}$	92,17
^{60}Co	$4,28 \cdot 10^{-8}$	7,79
^{90}Sr	$6,28 \cdot 10^{-12}$	0,04
Сумма	$5,49 \cdot 10^{-7}$	100

По результатам расчета, представленным в таблице № 19, следует заключить, что вклад в годовую эффективную дозу более 99 % обусловлен радионуклидами ^{137}Cs и ^{60}Co , таким образом, данные радионуклиды в

сбросах в пруд-охладитель подлежат государственному учету и нормированию.

3) определение перечня нормируемых радионуклидов в сбросах из выпуска № 3

Поскольку содержание ^{137}Cs в сбросах в оз. Белое не превышает НПО, значение сброса данного радионуклида может быть рассчитано по формуле:

$$Q_{^{137}\text{Cs}} = 0,5 \cdot Q_{\text{disch}} \cdot \text{НПО}_{^{137}\text{Cs}} = 0,5 \cdot 1,7 \cdot 10^3 \cdot 0,29 = 246,5 \text{ Бк/год.} \quad (46)$$

Дозы внешнего облучения населения, обусловленные купанием и рыболовством, рассчитываются по формулам (22) и (23). Подставив значения всех необходимых параметров в эти формулы, получим, что:

значение годовой эффективной дозы, обусловленной купанием в оз. Белое, для ^{137}Cs составит $8,81 \cdot 10^{-19}$ Зв/год, а для ^{106}Ru – $3,62 \cdot 10^{-14}$ Зв/год;

значение годовой эффективной дозы, обусловленной ловлей рыбы в оз. Белое, для ^{137}Cs составит $1,76 \cdot 10^{-18}$ Зв/год, а для ^{106}Ru – $7,24 \cdot 10^{-14}$ Зв/год.

Доза внешнего облучения населения, обусловленная пребыванием на пляже, рассчитывается по формуле (24). Выполнив все необходимые арифметические действия, получим, что значение годовой эффективной дозы, обусловленной пребыванием на пляже оз. Белое, составит для ^{137}Cs $1,45 \cdot 10^{-14}$ Зв/год, а для ^{106}Ru – $7,61 \cdot 10^{-10}$ Зв/год.

Доза внутреннего облучения населения, обусловленная потреблением рыбы, рассчитывается по формуле (28). Подставив значения всех необходимых параметров в данную формулу, получим, что значение годовой эффективной дозы, обусловленной потреблением рыбы, выловленной из оз. Белое, составит для ^{137}Cs $3,12 \cdot 10^{-14}$ Зв/год, а для ^{106}Ru – $1,42 \cdot 10^{-10}$ Зв/год.

Доза внутреннего облучения населения, обусловленная заглатыванием воды при купании, рассчитывается по формуле (44). Подставив значения всех необходимых параметров в данную формулу и приняв во внимание, что для ^{137}Cs критической группой населения являются «взрослые», а для ^{106}Ru – «дети в возрасте 1-2 года», получим, что значение годовой эффективной дозы, обусловленной заглатыванием воды при купании в оз. Белое, составит $3,97 \cdot 10^{-18}$ Зв/год для ^{137}Cs , а для ^{106}Ru – $2,73 \cdot 10^{-13}$ Зв/год.

Результаты расчета доз и оцененные вклады каждого из радионуклидов в суммарную годовую эффективную дозу, обусловленную сбросами радиоактивных веществ в оз. Белое, представлены в таблице № 20.

Результаты расчета годовых эффективных доз облучения, обусловленных сбросами радионуклидов в оз. Белое

Радионуклид	Годовая эффективная доза, Зв/год	Вклад в годовую эффективную дозу, %
^{137}Cs	$4,57 \cdot 10^{-14}$	Пренебрежимо мал
^{106}Ru	$9,03 \cdot 10^{-10}$	~100
Сумма	$9,03 \cdot 10^{-10}$	100

Из таблицы № 20 следует, что практически стопроцентный вклад в годовую эффективную дозу облучения населения вносит ^{106}Ru , поэтому в сбросах радиоактивных веществ в оз. Белое нормированию подлежит только этот радионуклид.

Определение максимальных удельных активностей

Итак, по результатам определения перечней радионуклидов, подлежащих нормированию в сбросах Организации, установлено, что:

в сбросах Организации в р. Черная нормированию подлежит ^{131}I ;

в сбросах Организации в пруд-охладитель нормированию подлежат ^{137}Cs и ^{60}Co ;

в сбросах Организации в оз. Белое нормированию подлежит ^{106}Ru .

В связи с этим расчет МУА в водах р. Черная, пруда-охладителя и оз. Белое, в которые осуществляются сбросы, требуется только для вышеуказанных радионуклидов.

1. Определение максимальных удельных активностей в воде р. Черная

МУА ^{134}Cs в воде р. Черная по пути облучения «купание», в соответствии с руководством по безопасности [25], может быть определена по формуле:

$$\text{МУА}_{^{134}\text{Cs}}^{\text{swim}} = \frac{1}{3,15 \cdot 10^7} \cdot \frac{\delta}{F_{^{134}\text{Cs},\text{ext}} \cdot \tau_{\text{swim}}} = \frac{1}{3,15 \cdot 10^7} \cdot \frac{50 \cdot 10^{-6}}{1,64 \cdot 10^{-16} \cdot 0,011} = 8,80 \cdot 10^5 \text{ Бк/м}^3. \quad (47)$$

МУА ^{134}Cs в воде р. Черная по пути облучения «рыбная ловля», в соответствии с руководством по безопасности [25], может быть определена по формуле:

$$\text{МУА}_{^{134}\text{Cs}}^{\text{fishing}} = \frac{1}{3,15 \cdot 10^7} \cdot \frac{\delta}{F_{^{134}\text{Cs},\text{ext}} \cdot \tau_{\text{fishing}}} = \frac{1}{3,15 \cdot 10^7} \cdot \frac{50 \cdot 10^{-6}}{1,64 \cdot 10^{-16} \cdot 0,022} = 4,40 \cdot 10^5 \text{ Бк/м}^3. \quad (48)$$

МУА ^{134}Cs в воде р. Черная по пути облучения «пребывание на пляже», в соответствии с руководством по безопасности [25], может быть определена по формуле:

$$\begin{aligned}
 \text{МУА}_{134\text{Cs}}^{\text{beach}} &= \frac{1}{3,15 \cdot 10^7} \cdot \frac{\delta}{0,2 \cdot f_{134\text{Cs}} \cdot \rho_s \cdot \Delta \cdot K_d^{134\text{Cs}} \cdot \tau_{\text{beach}}} = \frac{1}{3,15 \cdot 10^7} \cdot \\
 &\cdot \frac{50 \cdot 10^{-6}}{0,2 \cdot 1,52 \cdot 10^{-15} \cdot 1200 \cdot 0,02 \cdot 1,48 \cdot 10^2 \cdot 0,022} = 66,92 \text{ Бк/м}^3.
 \end{aligned} \tag{49}$$

МУА ^{134}Cs в воде р. Черная по пути облучения «пребывание в пойме», в соответствии с руководством по безопасности [25], может быть определена по формуле:

$$\begin{aligned}
 \text{МУА}_{134\text{Cs}}^{\text{floodplain}} &= \frac{1}{3,15 \cdot 10^7} \cdot \frac{\delta}{f_{131\text{I}} \cdot \rho_s \cdot \Delta \cdot K_d^{134\text{Cs}} \cdot \tau_{\text{floodplain}}} = \frac{1}{3,15 \cdot 10^7} \cdot \\
 &\cdot \frac{50 \cdot 10^{-6}}{1,52 \cdot 10^{-15} \cdot 1200 \cdot 0,02 \cdot 1,48 \cdot 10^2 \cdot 0,046} = 32,0 \text{ Бк/м}^3.
 \end{aligned} \tag{50}$$

МУА ^{134}Cs в воде р. Черная по пути облучения «пребывание на орошаемых территориях», в соответствии с руководством по безопасности [25], может быть определена по формуле:

$$\begin{aligned}
 \text{МУА}_{134\text{Cs}}^{\text{irr}} &= \frac{1}{3,15 \cdot 10^7} \cdot \frac{1 - e^{-\lambda_{134\text{Cs}} \cdot T_{\text{op}}}}{\lambda_{134\text{Cs}}} \cdot \frac{\delta}{f_{134\text{Cs}} \cdot q_{\text{op}} \cdot \tau_{\text{irr}}} = \\
 &= \frac{1}{3,15 \cdot 10^7} \cdot \frac{50 \cdot 10^{-6}}{1,52 \cdot 10^{-15} \cdot 0,475 \cdot \frac{1 - e^{-0,336 \cdot 50}}{0,336} \cdot 0,046} = 1,61 \cdot 10^4 \text{ Бк/м}^3.
 \end{aligned} \tag{51}$$

МУА ^{134}Cs в воде р. Черная по пути облучения «потребление рыбы», в соответствии с руководством по безопасности [25], может быть определена по формуле:

$$\text{МУА}_{134\text{Cs}}^{\text{fish}} = \frac{\delta}{F_{\text{ing}}^{134\text{Cs}} \cdot K_{P, 134\text{Cs}} \cdot I_{134\text{Cs}, \text{fish}}} = \frac{50 \cdot 10^{-6}}{1,9 \cdot 10^{-8} \cdot 2,5 \cdot 22} = 47,85 \text{ Бк/м}^3. \tag{52}$$

МУА ^{134}Cs в воде р. Черная по пути облучения «потребление овощей», в соответствии с руководством по безопасности [25], может быть определена по формуле:

$$\text{МУА}_{131\text{I}}^{\text{vegs}} = \frac{\delta}{F_{\text{ing}}^{134\text{Cs}} \cdot K_{\text{veg}, 134\text{Cs}} \cdot I_{134\text{Cs}, \text{vegs}}} = \frac{50 \cdot 10^{-6}}{1,9 \cdot 10^{-8} \cdot 4,36 \cdot 10^{-3} \cdot 230} = 2,62 \cdot 10^3 \text{ Бк/м}^3. \tag{53}$$

МУА ^{134}Cs в воде р. Черная по пути облучения «потребление мяса скота, в организм которого радионуклиды попадают за счет водопоя», в соответствии с руководством по безопасности [25], может быть определена по формуле:

$$MUA_{134Cs}^{meat(wp)} = \frac{\delta}{F_{ing}^{134Cs} \cdot K_{meat(wp), 134Cs} \cdot I_{134Cs, meat}} = \frac{50 \cdot 10^{-6}}{1,9 \cdot 10^{-8} \cdot 1,2 \cdot 10^{-2} \cdot 73} = 3,00 \cdot 10^3, \text{ Бк/м}^3. \quad (54)$$

МУА ^{134}Cs в воде р. Черная по пути облучения «потребление молока скота, в организм которого радионуклиды попадают за счет водопоя», в соответствии с руководством по безопасности [25], может быть определена по формуле:

$$MUA_{134Cs}^{milk(wp)} = \frac{\delta}{F_{ing}^{134Cs} \cdot K_{milk(wp), 134Cs} \cdot I_{134Cs, milk}} = \frac{50 \cdot 10^{-6}}{1,9 \cdot 10^{-8} \cdot 6,0 \cdot 10^{-3} \cdot 325} = 1,35 \cdot 10^3 \text{ Бк/м}^3. \quad (55)$$

МУА ^{134}Cs в воде р. Черная по пути облучения «потребление мяса скота, в организм которого радионуклиды попадают за счет выпаса на орошаемых территориях», в соответствии с руководством по безопасности [25], может быть определена по формуле:

$$MUA_{134Cs}^{meat(past)} = \frac{\delta}{F_{ing}^{134Cs} \cdot K_{meat(pasture), 134Cs} \cdot I_{134Cs, meat}} = \frac{50 \cdot 10^{-6}}{1,9 \cdot 10^{-8} \cdot 0,68 \cdot 73} = 53,01 \text{ Бк/м}^3. \quad (56)$$

МУА ^{134}Cs в воде р. Черная по пути облучения «потребление молока скота, в организм которого радионуклиды попадают за счет выпаса на орошаемых территориях», в соответствии с руководством по безопасности [25], может быть определена по формуле:

$$MUA_{134Cs}^{milk(past)} = \frac{\delta}{F_{ing}^{134Cs} \cdot K_{milk(pasture), 134Cs} \cdot I_{134Cs, milk}} = \frac{50 \cdot 10^{-6}}{1,9 \cdot 10^{-8} \cdot 0,9 \cdot 325} = 9,00 \text{ Бк/м}^3. \quad (57)$$

МУА ^{134}Cs в воде р. Черная по пути облучения «потребление питьевой воды», в соответствии с руководством по безопасности [25], может быть определена по формуле:

$$MUA_{134Cs}^{WC} = \frac{\delta \cdot 10^3}{F_{ing}^{134Cs} \cdot V_D} = \frac{50 \cdot 10^{-6} \cdot 10^3}{1,9 \cdot 10^{-8} \cdot 270} = 9,75 \cdot 10^3 \text{ Бк/м}^3. \quad (58)$$

МУА ^{134}Cs в воде р. Черная по пути облучения «заглатывание воды при купании», в соответствии с руководством по безопасности [25], может быть определена по формуле:

$$MUA_{134Cs}^{WD} = \frac{\delta}{F_{ing}^{134Cs} \cdot V_{WD} \cdot \tau_{swim}} = \frac{50 \cdot 10^{-6}}{1,9 \cdot 10^{-8} \cdot 0,184 \cdot 0,011} = 1,30 \cdot 10^6 \text{ Бк/м}^3. \quad (59)$$

2. Определение максимальных удельных активностей в воде пруда-охладителя

МУА ^{137}Cs и ^{60}Co в воде пруда-охладителя по пути облучения «рыбная ловля», в соответствии с руководством по безопасности [25], могут быть определены по формулам:

$$\text{МУА}_{^{137}\text{Cs}}^{\text{fishing}} = \frac{1}{3,15 \cdot 10^7} \cdot \frac{\delta}{0,2 \cdot f_{^{137}\text{Cs}} \cdot \rho_s \cdot \Delta \cdot K_d^{^{137}\text{Cs}} \cdot \tau_{\text{fishing}}} = \frac{1}{3,15 \cdot 10^7} \cdot \frac{50 \cdot 10^{-6}}{0,2 \cdot 5,79 \cdot 10^{-16} \cdot 1200 \cdot 0,02 \cdot 1,72 \cdot 10^2 \cdot 0,022} = 150,94 \text{ Бк/м}^3, \quad (60)$$

$$\text{МУА}_{^{60}\text{Co}}^{\text{fishing}} = \frac{1}{3,15 \cdot 10^7} \cdot \frac{\delta}{0,2 \cdot f_{^{60}\text{Co}} \cdot \rho_s \cdot \Delta \cdot K_d^{^{60}\text{Co}} \cdot \tau_{\text{fishing}}} = \frac{1}{3,15 \cdot 10^7} \cdot \frac{50 \cdot 10^{-6}}{0,2 \cdot 2,57 \cdot 10^{-16} \cdot 1200 \cdot 0,02 \cdot 2,47 \cdot 10^2 \cdot 0,022} = 236,79 \text{ Бк/м}^3. \quad (61)$$

МУА ^{137}Cs и ^{60}Co в воде пруда-охладителя по пути облучения «потребление рыбы», в соответствии с руководством по безопасности [25], могут быть определены по формуле:

$$\text{МУА}_{^{137}\text{Cs}}^{\text{fish}} = \frac{\delta}{F_{\text{ing}}^{^{137}\text{Cs}} \cdot K_{P,^{137}\text{Cs}} \cdot I_{^{137}\text{Cs},\text{fish}}} = \frac{50 \cdot 10^{-6}}{1,3 \cdot 10^{-8} \cdot 2,5 \cdot 10^0 \cdot 22} = 69,93 \text{ Бк/м}^3, \quad (62)$$

$$\text{МУА}_{^{60}\text{Co}}^{\text{fish}} = \frac{\delta}{F_{\text{ing}}^{^{60}\text{Co}} \cdot K_{P,^{60}\text{Co}} \cdot I_{^{60}\text{Co},\text{fish}}} = \frac{50 \cdot 10^{-6}}{2,7 \cdot 10^{-8} \cdot 7,6 \cdot 10^{-2} \cdot 11} = 2,22 \cdot 10^3 \text{ Бк/м}^3. \quad (63)$$

3. Определение максимальных удельных активностей в воде оз. Белое

МУА ^{106}Ru в воде оз. Белое по пути облучения «купание», в соответствии с руководством по безопасности [25], может быть определена по формулам:

$$\text{МУА}_{^{106}\text{Ru}}^{\text{swim}} = \frac{1}{3,15 \cdot 10^7} \cdot \frac{\delta}{F_{^{106}\text{Ru},\text{ext}} \cdot \tau_{\text{swim}}} = \frac{1}{3,15 \cdot 10^7} \cdot \frac{50 \cdot 10^{-6}}{2,19 \cdot 10^{-17} \cdot 0,011} = 6,59 \cdot 10^6 \text{ Бк/м}^3. \quad (64)$$

МУА ^{106}Ru в воде оз. Белое по пути облучения «рыбная ловля», в соответствии с руководством по безопасности [25], может быть определена по формуле:

$$MUA_{106Ru}^{fishing} = \frac{1}{3,15 \cdot 10^7} \cdot \frac{\delta}{F_{106Ru,ext} \cdot \tau_{fishing}} = \frac{1}{3,15 \cdot 10^7} \cdot \frac{50 \cdot 10^{-6}}{2,19 \cdot 10^{-17} \cdot 0,022} = 3,30 \cdot 10^6 \text{ Бк/м}^3. \quad (65)$$

МУА ^{106}Ru в воде оз. Белое по пути облучения «пребывание на пляже», в соответствии с руководством по безопасности [25], может быть определена по формуле:

$$MUA_{106Ru}^{beach} = \frac{1}{3,15 \cdot 10^7} \cdot \frac{\delta}{0,2 \cdot f_{106Ru} \cdot \rho_s \cdot \Delta \cdot K_d^{106Ru} \cdot \tau_{beach}} = \frac{1}{3,15 \cdot 10^7} \cdot \frac{50 \cdot 10^{-6}}{0,2 \cdot 3,45 \cdot 10^{-16} \cdot 1200 \cdot 0,02 \cdot 138,69 \cdot 0,022} = 314,15 \text{ Бк/м}^3. \quad (66)$$

МУА ^{106}Ru в воде оз. Белое по пути облучения «потребление рыбы», в соответствии с руководством по безопасности [25], может быть определена по формуле:

$$MUA_{106Ru}^{fish} = \frac{\delta}{F_{ing}^{106Ru} \cdot K_{P,106Ru} \cdot I_{106Ru,fish}} = \frac{50 \cdot 10^{-6}}{4,9 \cdot 10^{-8} \cdot 5,5 \cdot 10^{-2} \cdot 11} = 1,69 \cdot 10^3 \text{ Бк/м}^3. \quad (67)$$

МУА ^{106}Ru в воде оз. Белое по пути облучения «заглатывание воды при купании», в соответствии с руководством по безопасности [25], может быть определена по формуле:

$$MUA_{106Ru}^{WD} = \frac{\delta}{F_{ing}^{106Ru} \cdot V_{WD} \cdot \tau_{swim}} = \frac{50 \cdot 10^{-6}}{4,9 \cdot 10^{-8} \cdot 0,429 \cdot 0,011} = 2,16 \cdot 10^5 \text{ Бк/м}^3. \quad (68)$$

Расчет нормативов допустимых сбросов

1. Расчет нормативов допустимых сбросов радиоактивных веществ в р. Черная

Подставив рассчитанные ранее значения факторов разбавления для р. Черная и МУА по различным путям облучения населения в формулу (1), получим, что $ДС_{134Cs}^{ДОЗ}$ равен $1,21 \cdot 10^{11}$ Бк/год.

Подставив значения всех необходимых параметров в формулу (2), получим, что $ДС_{134Cs}^{ДО}$ равен $7,72 \cdot 10^7$ Бк/год.

Подставив значения всех необходимых параметров в формулу (3), получим, что $ДС_{134Cs}^{ОА}$ равен $2,16 \cdot 10^{14}$ Бк/год.

Подставив значения всех необходимых параметров в формулу (4), получим, что $ДС_{134Cs}^{ПВ}$ равен $2,11 \cdot 10^{14}$ Бк/год.

Из приведенного выше следует, что наиболее жестким ограничением для сбросов ^{134}Cs является ограничение по критерию неперевышения зна-

чением удельной активности ^{134}Cs в донных отложениях значения УАНИ, поэтому, в соответствии с формулой (5), в качестве норматива должен быть принят $\text{ДС}^{\text{ДО}}$, таким образом, значение $\text{ДС } ^{134}\text{Cs}$ для р. Черная составит $7,72 \cdot 10^7$ Бк/год.

2. Расчет нормативов допустимых сбросов радиоактивных веществ в пруд-охладитель

Поскольку пруд-охладитель не используется местным населением как источник питьевого водоснабжения, расчет нормативов $\text{ДС}^{\text{ПВ}}$ для данного водного объекта не требуется.

Подставив значения всех необходимых параметров в формулы (1) – (3), получим, что:

$$\text{ДС}_{^{137}\text{Cs}}^{\text{ДОЗ}} \text{ равен } 9,92 \cdot 10^9 \text{ Бк/год};$$

$$\text{ДС}_{^{60}\text{Co}}^{\text{ДОЗ}} \text{ равен } 6,11 \cdot 10^{10} \text{ Бк/год};$$

$$\text{ДС}_{^{137}\text{Cs}}^{\text{ДО}} \text{ равен } 1,21 \cdot 10^6 \text{ Бк/год};$$

$$\text{ДС}_{^{60}\text{Co}}^{\text{ДО}} \text{ равен } 6,77 \cdot 10^6 \text{ Бк/год};$$

$$\text{ДС}_{^{137}\text{Cs}}^{\text{ОА}} \text{ равен } 2,75 \cdot 10^{13} \text{ Бк/год};$$

$$\text{ДС}_{^{60}\text{Co}}^{\text{ОА}} \text{ равен } 1,00 \cdot 10^{14} \text{ Бк/год}.$$

Из приведенного выше следует, что для обоих радионуклидов наиболее жестким является ограничение по критерию непревышения значениями их удельной активности в донных отложениях значений УАНИ, поэтому в качестве нормативов ДС для этих радионуклидов должны быть приняты значения: $1,21 \cdot 10^6$ Бк/год для ^{137}Cs и $6,77 \cdot 10^6$ Бк/год для ^{60}Co .

3. Расчет нормативов допустимых сбросов радиоактивных веществ в оз. Белое

Поскольку оз. Белое не используется местным населением как источник питьевого водоснабжения, расчет нормативов $\text{ДС}^{\text{ПВ}}$ для данного водного объекта не требуется.

Подставив значения всех необходимых параметров в формулы (1) – (3), получим, что:

$$\text{ДС}_{^{106}\text{Ru}}^{\text{ДОЗ}} \text{ равен } 1,69 \cdot 10^{12} \text{ Бк/год};$$

$$\text{ДС}_{^{106}\text{Ru}}^{\text{ДО}} \text{ равен } 2,15 \cdot 10^8 \text{ Бк/год};$$

$$\text{ДС}_{^{106}\text{Ru}}^{\text{ОА}} \text{ равен } 3,40 \cdot 10^8 \text{ Бк/год}.$$

Из приведенного выше следует, что наиболее жестким ограничением сбросов ^{106}Ru является ограничение по критерию непревышения значением удельной активности ^{106}Ru в донных отложениях значения УАНИ, по-

этому в качестве норматива ДС для ^{106}Ru должно быть принято значение $2,15 \cdot 10^8$ Бк/год.

4. Результаты расчета нормативов

Значения нормативов ДС радиоактивных веществ Организации в водные объекты в сравнении с фактическими сбросами представлены в таблице № 21.

Таблица № 21

**Нормативы допустимых сбросов радиоактивных веществ Организации
в сравнении с их фактическими сбросами**

Приемник сбросов	Радионуклид	ДС, Бк/год	Q, Бк/год
р. Черная	^{134}Cs	$7,72 \cdot 10^7$	$3,9 \cdot 10^{10}$
пруд-охладитель	^{137}Cs	$1,21 \cdot 10^6$	$4,1 \cdot 10^7$
	^{60}Co	$6,77 \cdot 10^6$	$2,0 \cdot 10^6$
оз. Белое	^{106}Ru	$2,15 \cdot 10^8$	$2,7 \cdot 10^7$

Из результатов расчета нормативов ДС для р. Черная, пруда-охладителя и оз. Белого следует, что для двух радионуклидов в сбросах Организации наблюдается превышение их фактических сбросов над нормативами, а именно: для ^{134}Cs в сбросах в р. Черная и для ^{137}Cs в сбросах в пруд-охладитель. Таким образом, в Организации необходимо проведение мероприятий по снижению годовых сбросов упомянутых радионуклидов.

В заключение к данной главе еще раз отметим, что рассмотренный нами пример расчета нормативов является гипотетическим. При проведении расчета нормативов ДС для реальных ОИАЭ должны учитываться характерные для местности пути облучения населения, время, затрачиваемое на различные виды водопользования, а также годовое потребление продуктов питания местного сельскохозяйственного производства. Также могут использоваться иные значения таких радиоэкологических параметров, как коэффициенты межфазного распределения, коэффициенты накопления радионуклидов в рыбе и другие, поскольку большинство приведенных в руководстве по безопасности [25] значений радиоэкологических параметров рекомендуется использовать только в случае отсутствия данных натуральных исследований.

Вместе с тем рассмотренный в рамках данной главы пример дает читателю наглядное представление о том, каким образом должны учитываться требования Методики [23] при выполнении расчетов нормативов ДС для всех выделенных в ней типов водных объектов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках настоящей части методического пособия рассмотрены вопросы, связанные с нормированием сбросов радиоактивных веществ в водные объекты. Рассмотрены основные положения законодательства, связанные с нормированием радиоактивных сбросов, дано представление о научных подходах и нормативных критериях, используемых при разработке нормативов. Приведены примеры расчета нормативов допустимых сбросов для различных типов водных объектов.

Кроме того, в рамках настоящей части методического пособия приведены разработанные коллективом авторов нормативные правовые акты, направленные на реализацию действующих положений законодательства Российской Федерации, а также рекомендательные документы, в которых подробно раскрыты подходы к выполнению нормативных требований (приложения А и Б).

Подводя итог сказанному не только в рамках настоящей части методического пособия, но и в рамках его предыдущей части [4], следует заключить, что на текущий момент нормативная правовая база в области регулирования сбросов радиоактивных веществ в окружающую среду в целом сформирована. Вместе с тем существует ряд вопросов, касающихся нормирования сбросов радиоактивных веществ в окружающую среду и требующих детальной проработки.

Так, действие Методики [23] распространяется только на поверхностные водные объекты, однако в Российской Федерации также реализуется практика осуществления сбросов радиоактивных веществ в водоносные горизонты и на поля фильтрации, представляющие собой участки земли, на поверхности которых осуществляется очистка сточных вод за счет естественных биологических процессов. Методологию установления нормативов ДС радиоактивных веществ для таких природных и техногенных объектов, являющихся приемниками радиоактивных сбросов, еще предстоит разработать.

Список использованных источников

1. О Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору: постановление Правительства Российской Федерации от 30 июля 2004 г. № 401.

2. О нормативах выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух и вредных физических воздействий на него: постановление Правительства Российской Федерации от 2 марта 2000 г. № 183.

3. О порядке утверждения нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей: постановление Правительства Российской Федерации от 23 июля 2007 г. № 469.

4. Методическое пособие по вопросам регулирования выбросов и сбросов в окружающую среду. Часть I. Методические основы регулирования и мониторинга выбросов и сбросов. Нормирование выбросов радиоактивных веществ в окружающую среду. – М: ФБУ «НТЦ ЯРБ», 2015. – 170 с.

5. Об охране окружающей среды: федеральный закон Российской Федерации от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ.

6. Об использовании атомной энергии: федеральный закон Российской Федерации от 21 ноября 1995 г. № 170-ФЗ.

7. О радиационной безопасности: федеральный закон Российской Федерации от 9 января 1996 г. № 3-ФЗ.

8. О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения: федеральный закон Российской Федерации от 30 марта 1999 г. № 52-ФЗ.

9. Водный кодекс Российской Федерации: федеральный закон Российской Федерации от 3 июня 2006 г. № 74-ФЗ.

10. О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов: федеральный закон Российской Федерации от 20 декабря 2004 г. № 166-ФЗ.

11. О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации: федеральный закон Российской Федерации от 21 июля 2014 г. № 219-ФЗ.

12. Об утверждении перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды: распоряжение Правительства Российской Федерации от 08 июля 2015 г. № 1316-р.

13. О порядке разработки и утверждения нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: постановление Правительства Российской Федерации от 28 июня 2008 г. № 484.

14. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13 декабря 2016 г. № 552.

15. Об утверждении Положения о Государственной санитарно-эпидемиологической службе Российской Федерации и Положения о государственном санитарно-эпидемиологическом нормировании: постановление Правительства Российской Федерации от 24 июля 2004 г. № 554.

16. СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности. НРБ-99/2009: утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 7 июля 2009 г. № 47.

17. Об утверждении Положения о разработке и утверждении федеральных норм и правил в области использования атомной энергии: постановление Правительства Российской Федерации от 1 декабря 1997 г. № 1511.

18. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. НП-001-15: утверждены приказом Ростехнадзора от 17 декабря 2015 г. № 522: зарегистрированы в Минюсте России 2 февраля 2016 г., регистрационный № 40939.

19. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Общие положения обеспечения безопасности объектов ядерного топливного цикла (ОПБ ОЯТЦ). НП-016-05: утверждены постановлением Ростехнадзора от 2 декабря 2005 г. № 11: зарегистрированы в Минюсте России 1 февраля 2006 г., регистрационный № 7433.

20. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Общие положения обеспечения безопасности исследовательских ядерных установок. НП-033-11: утверждены приказом Ростехнадзора от 30 июня 2011 г. № 348: зарегистрированы в Минюсте России 29 августа 2011 г., регистрационный № 21700.

21. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Общие положения обеспечения безопасности радиационных источников. НП-038-16: утверждены приказом Ростехнадзора от 28 сентября 2016 г. № 44120: зарегистрированы в Минюсте России 24 октября 2016 г., регистрационный № 44120.

22. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Безопасность при обращении с радиоактивными отходами. Общие положения. НП-058-14: утверждены приказом Ростехнадзора от 5 августа 2014 г. № 347: зарегистрированы в Минюсте России 14 ноября 2014 г., регистрационный № 34701.

23. Об утверждении методики разработки нормативов допустимых сбросов радиоактивных веществ в водные объекты для водопользователей: приказ Ростехнадзора от 22 декабря 2016 г. № 551: зарегистрирован в Минюсте России 15 февраля 2017 г., регистрационный № 45652.

24. Рекомендации по содержанию документов, обосновывающих нормативы предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух и нормативы допустимых сбросов радиоактивных веществ в водные объекты. РБ-085-13: приказ Ростехнадзора от 19 августа 2013 г. № 362.

25. Рекомендуемые методы расчета параметров, необходимых для разработки нормативов допустимых сбросов радиоактивных веществ в водные объекты. РБ-126-17: приказ Ростехнадзора от 25 июля 2017 г. № 281.

26. 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 Правительства Российской Федерации от 19 октября 2012 г. № 1069.

27. СП 2.6.1.2612-10. Основные правила обеспечения радиационной безопасности. ОСПОРБ-99/2010: утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 26 апреля 2010 г. № 40.

28. Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные нормы безопасности/ Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GSR Part 3 – IAEA, 2015 (русская версия).
29. О водоснабжении и водоотведении: федеральный закон Российской Федерации от 7 декабря 2011 г. № 416-ФЗ.
30. Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments. Technical reports series № 472. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 2010.
31. Quantification of radionuclide transfers in terrestrial and freshwater environments for radiological assessments. IAEA-TECDOC-1616. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 2009.
32. Onishi Y., Serne R.J., Arnold E.M., Cowen C.E., Thompson F.L. Critical review: Radionuclide transport, sediment transport, and water quality mathematical modelling and radionuclide adsorption / desorption mechanisms, rep. NUREG/CR-1322, PNL-2901, Pacific Northwest Lab., Richmond, WA, 1991.
33. Sediment distribution coefficients and concentration factors for biota in the marine environment. Technical reports series № 422. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 2004.
34. Generic models for use in assessing the impact of discharges of radioactive substances to the environment. Safety reports series № 19. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 2001.
35. Environmental and source monitoring for purposes of radiation protection protection: safety guide. IAEA Safety standards series № RS-G-1.8. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 2005.
36. Об утверждении руководства по безопасности при использовании атомной энергии «Рекомендации к структуре и содержанию технологического регламента эксплуатации блока атомной станции с реактором типа ВВЭР. РБ-121-16: приказ Ростехнадзора от 14 декабря 2016 г. № 533.
37. Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций (СП АС-03). Санитарные правила и гигиенические нормативы СанПин 2.6.1.24-03: утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28 апреля 2003 г. № 69.
38. A Framework for Assessing the Impact of Ionising Radiation on Non-human Species / ICRP Publication 91. – Ann. ICRP № 33 (3). – ICRP, 2003.
39. Порядок расчета контрольных уровней содержания радионуклидов в объектах природной среды. Р 52.18.852-2016, Р 52.18.853-2016.
40. Environmental Protection: the Concept and Use of Reference Animals and Plants / ICRP Publication 108. – Ann. ICRP № 38 (4 – 6). – ICRP, 2008.
41. Рекомендации по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания: утверждены приказом Министерства здравоохранения Российской Федерации от 19 августа 2016 г. № 614.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Утверждена
приказом Федеральной службы
по экологическому, технологическому
и атомному надзору
от «22» декабря 2016 г. № 551

**МЕТОДИКА
РАЗРАБОТКИ НОРМАТИВОВ ДОПУСТИМЫХ СБРОСОВ
РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ
ДЛЯ ВОДОПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ**

I. Основные положения

1. Настоящая Методика разработки нормативов допустимых сбросов радиоактивных веществ в водные объекты для водопользователей (далее – Методика) разработана в соответствии с:

Федеральным законом от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (Собрание законодательства Российской Федерации, 2002, № 2, ст. 133; 2004, № 35, ст. 3607; 2005, № 1, ст. 25; № 19, ст. 1752; 2006, № 1, ст. 10; № 52, ст. 5498; 2007, № 7, ст. 834; № 27, ст. 3213; 2008, № 26, ст. 3012; № 29, ст. 3418; № 30, ст. 3616; 2009, № 1, ст. 17; № 11, ст. 1261; № 52, ст. 6450; 2011, № 1, ст. 54; № 29, ст. 4281; № 30, ст. 4590, ст. 4591, ст. 4596; № 48, ст. 6732; № 50, ст. 7359; 2012, № 26, ст. 3446; 2013, № 27, ст. 3477; № 30, ст. 4059; № 52, ст. 6971, ст. 6974; 2014, № 11, ст. 1092; № 30, ст. 4220; № 48, ст. 6642; 2015, № 1, ст. 11; № 27, ст. 3994; № 29, ст. 4359; № 48, ст. 6723; 2016, № 1, ст. 24; № 15, ст. 2066; № 27, ст. 4187, ст. 4291) (далее – ФЗ № 7);

Федеральным законом от 21 ноября 1995 г. № 170-ФЗ «Об использовании атомной энергии» (Собрание законодательства Российской Федерации, 1995, № 48, ст. 4552; 1997, № 7, ст. 808; 2001, № 29, ст. 2949; 2002, № 1, ст. 2; № 13, ст. 1180; 2003, № 46, ст. 4436; 2004, № 35, ст. 3607; 2006, № 52, ст. 5498; 2007, № 7, ст. 834; № 49, ст. 6079; 2008, № 29, ст. 3418; № 30, ст. 3616; 2009, № 1, ст. 17; № 52, ст. 6450; 2011, № 29, ст. 4281; № 30, ст. 4590, ст. 4596; № 45, ст. 6333; № 48, ст. 6732; № 49, ст. 7025; 2012, № 26, ст. 3446; 2013, № 27, ст. 3451; 2016, № 14, ст. 1904; № 15, ст. 2066; № 27, ст. 4289);

Федеральным законом от 30 марта 1999 г. № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (Собрание законодательства Российской Федерации, 1999, № 14, ст. 1650; 2002, № 1, ст. 2; 2003, № 2, ст. 167; № 27, ст. 2700; 2004, № 35, ст. 3607; 2005, № 19, ст. 1752; 2006, № 1, ст. 10; № 52, ст. 5498; 2007, № 1, ст. 21, ст. 29; № 27, ст. 3213; № 46, ст. 5554; № 49, ст. 6070; 2008, № 24, ст. 2801; № 29, ст. 3418; № 30, ст. 3616, № 44, ст. 4984; № 52, ст. 6223; 2009, № 1, ст. 17; 2010, № 40, ст. 4969; 2011, № 1, ст. 6; № 30, ст. 4563, ст. 4590, ст. 4591, ст. 4596; № 50, ст. 7359; 2012, № 24, ст. 3069; № 26, ст. 3446; 2013, № 27, ст. 3477; № 30, ст. 4079; № 48, ст. 6165; 2014, № 26, ст. 3366, ст. 3377; 2015, № 1, ст. 11; № 27, ст. 3951; № 29, ст. 4339, ст. 4359; № 48, ст. 6724; 2016, № 27, ст. 4160, ст. 4238);

Федеральным законом от 9 января 1996 г. № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения» (Собрание законодательства Российской Федерации, 1996, № 3, ст. 141; 2004, № 35, ст. 3607; 2008, № 30, ст. 3616; 2011, № 30, ст. 4590, ст. 4596);

Федеральным законом от 20 декабря 2004 г. № 166-ФЗ «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов» (Собрание законодательства Российской Федерации, 2004, № 52, ст. 5270; 2006, № 1, ст. 10; № 23, ст. 2380; № 52 ст. 5498; 2007, № 1, ст. 23; № 17, ст. 1933; № 50, ст. 6246; 2008, № 49, ст. 5748; 2011, № 1, ст. 32; № 30, ст. 4590; № 48, ст. 6728, ст. 6732; № 50, ст. 7343, ст. 7351; 2013, № 27, ст. 3440; № 52, ст. 6961; 2014, № 11, ст. 1098; № 26, ст. 3387, № 45, ст. 6153; № 52, ст. 7556; 2015, № 1, ст. 72; № 18, ст. 2623; № 27, ст. 3999; 2016, № 27, ст. 4282);

Водным кодексом Российской Федерации от 3 июня 2006 г. № 74-ФЗ (Собрание законодательства Российской Федерации, 2006, № 23, ст. 2381; № 50, ст. 5279; 2007, № 26, ст. 3075; 2008, № 29, ст. 3418; № 30, ст. 3616; 2009, № 30, ст. 3735; № 52, ст. 6441; 2011, № 1, ст. 32; № 29, ст. 4281; № 30, ст. 4590, ст. 4594, ст. 4596; ст. 4605; № 48, ст. 6732; № 50, ст. 7343, ст. 7359; 2012, № 26, ст. 3446; № 31, ст. 4322; 2013, № 19, ст. 2314; № 27, ст. 3440; № 43, ст. 5452; № 52, ст. 6961; 2014, № 26, ст. 3387; № 42, ст. 5615; № 43, ст. 5799; 2015, № 1 ст. 11, ст. 12, ст. 52; № 29, ст. 4347, ст. 4350, ст. 4359, ст. 4370; № 48, ст. 6723; 2016, № 45, ст. 6203);

постановлением Правительства Российской Федерации от 23 июля 2007 г. № 469 «О порядке утверждения нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей» (Собрание законодательства Российской Федерации, 2007, № 31, ст. 4088; 2009, № 12, ст. 1429; 2011, № 9, ст. 1246; № 24, ст. 3500);

постановлением 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 кри-

Часть II. Регулирование сбросов радиоактивных веществ в водные объекты

териях классификации удаляемых радиоактивных отходов» (Собрание законодательства Российской Федерации, 2012, № 44, ст. 6017; 2015, № 6, ст. 974) (далее – постановление Правительства о критериях отнесения к радиоактивным отходам);

постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 7 июля 2009 г. № 47 «Об утверждении СанПиН 2.6.1.2523–09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)» (зарегистрировано Министерством юстиции Российской Федерации 14 августа 2009 г., регистрационный № 14534; Российская газета, 2009 г., № 171/1) (далее – НРБ-99/2009);

постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 26 апреля 2010 г. № 40 «Об утверждении СП 2.6.1.2612–10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)» (зарегистрировано Министерством юстиции Российской Федерации 11 августа 2010 г., регистрационный № 18115; «Российская газета», 2010 г., № 210/1) с изменением № 1, утвержденным постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 16 сентября 2013 г. № 43 (зарегистрировано Министерством юстиции Российской Федерации 5 ноября 2013 г., регистрационный № 30309; Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти, 2013, № 47) (далее – ОСПОРБ-99/2010).

2. Методика распространяется на организации, эксплуатирующие объекты, имеющие в своем составе стационарные источники сбросов радиоактивных веществ (источники сбросов радиоактивных сточных вод) в водные объекты, в том числе на эксплуатирующие организации объектов использования атомной энергии, и на иные организации, эксплуатирующие объекты хозяйственной и иной деятельности, не относящиеся к объектам использования атомной энергии и осуществляющие сбросы радиоактивных веществ (сбросы радиоактивных сточных вод) в водные объекты (далее – организации), за исключением организаций, деятельность которых не приводит к изменению объемной активности радиоактивных веществ (по сравнению с фоновой) и (или) внесению дополнительной (к фоновой) активности радиоактивных веществ при условии, что сброс осуществляется в тот же водный объект, из которого вода отобрана для ведения деятельности.

3. Методика устанавливает методы разработки нормативов допустимых сбросов радиоактивных веществ (далее – нормативы ДС) из стационарных источников сбросов радиоактивных веществ (сбросов радиоактивных сточных вод) в водные объекты, а именно в водотоки – реки, ручьи, каналы; водоемы – озера, пруды, обводненные карьеры, водохранилища; отдельные части морей – проливы, заливы, в том числе бухты, лиманы и прочие.

При разработке нормативов ДС необходимо учитывать связь водных объектов, в которые непосредственно осуществляются сбросы (далее для целей

настоящей Методики – приемники сбросов), с водными объектами, на состояние каждого из которых радионуклиды посредством попадания из приемников сбросов могут оказывать влияние, представляющими, совместно с приемниками сбросов, систему водных объектов (далее для целей настоящей Методики – водная система).

4. Сооружения, обеспечивающие охрану водных объектов от загрязнения, должны обеспечивать очистку сточных, в том числе дренажных, вод таким образом, чтобы не превышались установленные нормативы допустимых сбросов радиоактивных веществ.

5. Нормативы ДС устанавливаются для каждого проектируемого и (или) существующего в организации конкретного источника сбросов радиоактивных веществ (сбросов радиоактивных сточных вод) в водный объект (в том числе вод, сток которых осуществляется или будет осуществляться с территории организации) в виде значений допустимых сбросов i -го радионуклида в водный объект из каждого (n -го) источника сбросов радиоактивных веществ (сбросов радиоактивных сточных вод) в водный объект – ДС _{i , n} , Бк/год.

6. На стадии проектирования объекта нормативы ДС устанавливаются с использованием данных проектных изысканий. За время эксплуатации нормативы ДС должны пересматриваться не реже одного раза в 7 лет. При изменениях водной системы, характеристик водопользования, модернизации или создании дополнительных гидротехнических сооружений, а также при изменении деятельности организации, приводящей к изменению расходов радиоактивных сточных вод из источников сбросов, объемных активностей радионуклидов в данных радиоактивных сточных водах и (или) к изменению их радионуклидного состава, должен проводиться внеочередной пересмотр нормативов ДС.

7. Нормативы ДС устанавливаются для всех источников сбросов радиоактивных веществ (сбросов радиоактивных сточных вод), сброс радионуклидов из которых создает (без учета рассеивания) индивидуальную годовую эффективную дозу облучения населения, превышающую 10 мкЗв.

Индивидуальная годовая эффективная доза облучения населения принимается равной индивидуальной годовой эффективной дозе облучения группы лиц из населения (не менее 10 человек), однородной по одному или нескольким признакам – полу, возрасту, социальным или профессиональным условиям, месту проживания, рациону питания, которая подвергается наибольшему радиационному воздействию (за счет сбросов радиоактивных веществ в водные объекты) от данного источника излучения (далее – критическая группа лиц из населения).

Нормативы ДС устанавливаются для всех радионуклидов, совокупный вклад которых в значение годовой эффективной дозы облучения критической группы лиц из населения с учетом рассеивания составляет не менее 99%.

8. Нормативы ДС определяются исходя из требования непревышения установленной для организации квоты на облучение населения от сбросов организацией радиоактивных веществ (сбросов радиоактивных сточных вод) в водные объекты δ (части от предела эффективной дозы облучения критической группы лиц из населения, приведенного в таблице 3.1 НРБ-99/2009), установленной для ограничения облучения населения от всех путей облучения, связанных со сбросами радионуклидов в водные объекты из всех источников сброса организации.

9. Нормативы допустимых сбросов устанавливаются исходя из соблюдения санитарно-эпидемиологических требований и гигиенических нормативов, а также из условий обеспечения благоприятной окружающей среды, благоприятных условий жизнедеятельности человека и сохранения биологического разнообразия.

**II. Условия, которым должны удовлетворять нормативы
допустимых сбросов радиоактивных веществ в водные объекты
для водопользователей из каждого источника сброса**

10. Норматив $ДС_{i,n}$ i -го радионуклида через n -ый источник сброса ($n = 1, 2, \dots, N$) для каждого из N источников сброса организации определяется из условия, что сброс осуществляется только через данный n -ый источник сброса и при этом из него сбрасывается только i -ый радионуклид, по формуле:

$$ДС_{i,n} = \min(ДС_{i,n}^{\text{доз}}, ДС_{i,n}^{\text{ПВ}}, ДС_{i,n}^{\text{ДО}}, ДС_{i,n}^{\text{ОА}}), \quad (1)$$

где: $ДС_{i,n}^{\text{доз}}$ – максимальная величина сброса i -го радионуклида через n -ый источник сбросов радиоактивных веществ (сбросов радиоактивных сточных вод), при которой не превышает установленная для организации квота δ на облучение критической группы лиц из населения за счет сбросов в водные объекты из всех источников сбросов радиоактивных веществ (сбросов радиоактивных сточных вод) организации по всем путям воздействия, связанным с использованием этих водных объектов, Бк/год;

$ДС_{i,n}^{\text{ПВ}}$ – максимальная величина сброса i -го радионуклида через n -ый источник сбросов радиоактивных веществ (сбросов радиоактивных сточных вод), при которой в точках водозабора для целей питьевого водоснабжения не превышаются установленные в приложении 2а к НРБ-99/2009 уровни вмешательства по содержанию радионуклидов в питьевой воде, Бк/год;

$ДС_{i,n}^{\text{ДО}}$ – максимальная величина сброса i -го радионуклида через n -ый источник сбросов радиоактивных веществ (сбросов радиоактивных сточных вод), при которой величина удельной активности i -го радионуклида в донных отложениях (в нативном виде) водного объекта, в который осуществляется сброс, не превысит для техногенных радионуклидов – значения удельной активности

этого радионуклида, допускающего неограниченное использование твердых материалов (далее – УАНИ_i), приведенного в приложении № 3 к ОСПОРБ-99/2010, а для материнских радионуклидов природного происхождения – 10 Бк/г, Бк/год;

$ДС_{i,n}^{OA}$ – максимальная величина сброса *i*-го радионуклида через *n*-ый источник сбросов радиоактивных веществ (сбросов радиоактивных сточных вод), Бк/год, при которой величина удельной активности *i*-го радионуклида в непосредственно сбрасываемой в водоем жидкости не превышает $0,1 \cdot A_i^{PAO}$, Бк/г, где A_i^{PAO} – минимальное значение удельной активности данного радионуклида в отходах, на основании которого жидкие отходы относятся к радиоактивным отходам, установленное постановлением Правительства о критериях отнесения к радиоактивным отходам, то есть при которой выполняется соотношение

$$ДС_{i,n}^{OA} \leq V_{\min,n} \cdot A_i^{PAO} \cdot 10^5, \quad (2)$$

где: $V_{\min,n}$ – минимальный годовой объем сброса через *n*-ый источник сбросов радиоактивных веществ (сбросов радиоактивных сточных вод), м³/год, при котором с учетом одновременного непревышения удельной активности радионуклидов в сбросе значений $0,1 \cdot A_i^{PAO}$ гарантированно обеспечивается выполнение запрета на сброс жидких радиоактивных отходов в окружающую среду, установленного ФЗ № 7.

Величина $ДС_{i,n}^{PB}$ применяется в формуле (1) только в случае, если хотя бы один водный объект водной системы является источником питьевого водоснабжения.

Величина $ДС_{i,n}$ является основной величиной, определяющей нормативы ДС радиоактивных веществ в водные объекты для водопользователей.

11. При наличии в сбрасываемых через *n*-ый источник сброса радиоактивных сточных водах смеси радионуклидов сброс удовлетворяет нормативам ДС, если одновременно выполняются следующие соотношения:

$$\sum_{i,n} \frac{Q_{i,n}}{ДС_{i,n}^{доз}} \leq 1; \quad (3)$$

$$\sum_i \frac{Q_{i,n}}{ДС_{i,n}^{PB}} \leq 1; \quad (4)$$

$$\sum_i \frac{Q_{i,n}}{ДС_{i,n}^{ДО}} \leq 1; \quad (5)$$

$$\sum_i \frac{Q_{i,n}}{ДС_{i,n}^{OA}} \leq 1, \quad (6)$$

где: $Q_{i,n}$ – величина фактического сброса i -го радионуклида через n -ый источник сбросов радиоактивных веществ (сбросов радиоактивных сточных вод) за год или ее проектное значение, Бк/год; при этом соотношения (4) - (6) должны выполняться для каждого из N источников в отдельности.

12. Значения УАНИ $_i$ в рамках настоящей Методики используются только как критерий для установления нормативов ДС организации. Фактическое превышение значений УАНИ $_i$ в донных отложениях, обусловленное сбросами до введения в действие настоящей Методики, не является препятствием для установления нормативов ДС.

13. При расчете нормативов ДС радиоактивных веществ в реку Теча необходимо руководствоваться принципом непревышения допустимой удельной активности $0,1 \cdot A_i^{PAO}$ воды в контрольном створе Муслумово реки Теча, а также принципом непревышения в контрольном створе Красноисетское реки Исеть уровней вмешательства по содержанию радионуклидов в питьевой воде, установленных в приложении 2а к НРБ-99/2009.

Расчет нормативов ДС радиоактивных веществ в реку Теча осуществляется исходя из условия минимального расхода воды в ней.

III. Проведение анализа водной системы

14. Водная система включает в себя источники сбросов радиоактивных веществ (радиоактивных сточных вод) организации и часть водохозяйственных участков, водных объектов, речных бассейнов или бассейновых округов, и ограничивается условной линией, пересекающей водотоки или водоемы, за пределами которой влияние сбросов радиоактивных веществ (радиоактивных сточных вод) не приводит к повышению естественного радиационного фона.

15. Для расчета нормативов ДС радиоактивных веществ в водные объекты необходимо определить ожидаемое распределение сбрасываемых радионуклидов в водной системе и дозовые нагрузки на критическую группу лиц из населения, обусловленные радионуклидами, поступившими за счет сброса.

16. На первом этапе выполняются анализ состояния водной системы и подготовка данных.

При анализе необходимо выполнить следующие операции:

1) осуществить условное разбиение водной системы на типовые элементы (описание типовых элементов для анализа водной системы и определение факторов разбавления приведены в главе V настоящей Методики);

2) определить гидрологические характеристики водной системы, виды водопользования водной системы, а также радиоэкологические характеристики;

3) 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 (далее в рамках настоящей Методики – водопользование), приводящее к облучению лиц из населения (далее – критические участки).

17. Необходимые для выполнения требований пункта 16 настоящей Методики сведения могут быть определены как по данным изысканий, так и на основе их запроса в государственном водном реестре.

18. В качестве гидрологических характеристик водной системы (размеры и расход рек, размеры и проточность озер и водохранилищ) для расчета, выбираются минимальные значения гидрологических данных, полученных на протяжении последних 30 лет (далее – наименее водный год). При отсутствии данных по расходу выбираются гидрологические характеристики, соответствующие трети от среднегодового расхода или проточности рек и озер.

19. Минимальным перечнем радиоэкологических характеристик, необходимым для установления нормативов ДС в соответствии с настоящей Методикой, является следующее: плотность загрязненной почвы, толщина слоя загрязненной почвы, содержащего радионуклиды, расход воды на орошение, годовые количества потребляемых продуктов питания, концентрация взвеси донных отложений в воде водного объекта, коэффициенты межфазного распределения радионуклидов между водой и почвой и между водой и донными отложениями, коэффициенты перехода радионуклидов из воды по пищевым цепочкам в продукты питания, коэффициенты перехода радионуклидов из воды, используемой для полива, через почву в воздух за счет вторичного ветрового подъема пыли и за счет подъема пыли в результате пахоты.

20. Радиоэкологические характеристики принимаются преимущественно на основе измерений, выполненных в рассматриваемой водной системе. При невозможности проведения этих измерений допускается использование общедоступных опубликованных данных. При несовпадении справочных величин и результатов натурных наблюдений следует использовать результаты натурных наблюдений.

IV. Определение максимальных удельных активностей радионуклидов

21. Рассматриваются две группы факторов, приводящих к облучению населения в результате водопользования: по пути облучения лиц из населения и по типу критических участков.

По пути облучения населения:

1) внешнее: купание, добыча (вылов) водных биологических ресурсов, изъятие объектов аквакультуры, удовлетворение личных и бытовых нужд (пребывание на пляже, пребывание в поймах рек, пребывание на орошаемых сельскохозяйственных угодьях);

2) внутреннее: потребление продукции из водных биоресурсов и объектов аквакультуры, потребление питьевой воды, водопой скота (потребление молока и мяса), потребление плодоовощной продукции с орошаемых сельскохозяйственных угодий, выпас скота на орошаемых пастбищах (потребление молока и мяса), вдыхание загрязненной пыли при сельскохозяйственных работах.

По типу критических участков:

1) критические участки, определяемые расположением объектов водопользования (водозаборы для питьевого водоснабжения, места водопоя скота, места отбора воды для полива, места добычи (вылова) водных биологических ресурсов, рыбопромысловые и рыбоводные участки, пляжи и другие места для отдыха);

2) критические участки, определяемые максимальным загрязнением контрольного объекта (например, рыбы).

При наличии в водной системе нескольких критических участков для одного пути облучения лиц из населения выбирается участок с наименьшим расчетным значением $MUA_i^{\text{доз}}$, Бк/м³ - максимальной допустимой удельной активности *i*-го радионуклида в воде водного объекта (участка водного объекта) из рассматриваемых в составе водной системы по данному пути облучения населения.

22. При учете внешнего облучения населения, обусловленного купанием лиц из населения в водных объектах водной системы, добычей (выловом) в них водных биологических ресурсов, пребыванием на пляже, в поймах рек и на орошаемых сельскохозяйственных угодьях, $MUA_i^{\text{доз}}$ определяется по соотношению:

$$MUA_i^{\text{доз}} = \frac{\delta}{F_{i,\text{внеш}} \cdot \tau_D}, \quad (7)$$

где: δ – установленная для организации квота на облучение от сбросов, определенная в пункте 8 настоящей Методики; τ_D – время облучения в долях года (безразмерная величина); $F_{i,\text{внеш}}$ – дозовый коэффициент для внешнего облучения, (мЗв·м³)·(Бк·год)⁻¹.

Для пребывания лиц из населения в поймах рек и на пляже значения дозовых коэффициентов для расчета внешнего облучения за счет *i*-го радионуклида, поступившего из воды водного объекта в почву поймы или пляжа, определяются по формуле:

$$F_{i,\text{внеш}} = a \cdot f_i \cdot \rho_s \cdot \Delta \cdot K_{di}, \quad (8)$$

где: f_i – дозовый коэффициент, равный мощности эквивалентной дозы от поверхностного загрязнения почвы поймы или пляжа *i*-ым радионуклидом

с единичной поверхностной активностью, $(\text{мЗв}\cdot\text{м}^2)\cdot(\text{Бк}\cdot\text{год})^{-1}$; ρ_s – плотность загрязненной почвы, $\text{кг}/\text{м}^3$; Δ – толщина слоя загрязненной почвы, содержащего радионуклиды, м; K_{di} – коэффициент межфазного распределения «вода – пойменная почва», $\text{м}^3/\text{кг}$; a – безразмерный коэффициент, принимающий значение 1 при пребывании на пойме и 0,2 – при пребывании на пляже.

Для пребывания на территории орошаемых сельскохозяйственных угодий значения дозовых коэффициентов для расчета внешнего облучения лиц из населения за счет i -го радионуклида определяются по формуле:

$$F_{i,внеш} = f_i \cdot q_r \cdot \frac{1 - e^{-\lambda_i \cdot T_r}}{\lambda_i}, \quad (9)$$

где: q_r – расход воды на орошение, $\text{м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{год})$; λ_i – постоянная распада радионуклида, год^{-1} ; T_r – длительность орошения (не менее 7 лет), год.

Значения Δ , ρ_s , K_{di} , q_r и T_r принимаются в соответствии с результатами натуральных исследований. В случае невозможности проведения таких исследований для определения $F_{i,внеш}$ допускается использование общедоступных опубликованных данных. При несовпадении справочных величин и результатов натуральных наблюдений следует использовать результаты натуральных наблюдений.

23. При учете внутреннего облучения населения, обусловленного потреблением пищевых продуктов, максимальная допустимая удельная активность i -го радионуклида в воде водного объекта (участка водного объекта) из рассматриваемых в составе водной системы определяется по соотношению:

$$\text{МУА}_i^{\text{доз}} = \frac{\delta}{F_{i,внут} \cdot K_{fi} \cdot P}, \quad (10)$$

где: δ – установленная для организации квота на облучение от сбросов, определенная в пункте 8 настоящей Методики; $F_{i,внут}$ – дозовый коэффициент для внутреннего облучения, $\text{мЗв}/\text{Бк}$; K_{fi} – коэффициент перехода радионуклидов из воды по пищевым цепочкам в данный пищевой продукт, $\text{м}^3/\text{кг}$; P – количество изготовленного из сельскохозяйственной продукции местного производства пищевого продукта, потребляемого человеком за год, $\text{кг}/\text{год}$.

Для пищевой цепочки, связанной с потреблением определенного водного биологического ресурса $K_{fi} = K_{P,i}$, где $K_{P,i}$ – коэффициент перехода радионуклида в водный биологический ресурс.

Значения коэффициентов K_{fi} , $K_{P,i}$ и рациона потребления пищевых продуктов P устанавливаются на основании региональных натуральных исследований. При отсутствии необходимых сведений допускается использование общедоступных опубликованных данных. При несовпадении справочных величин и результатов натуральных наблюдений следует использовать результаты натуральных наблюдений.

24. При учете внутреннего облучения лиц из населения, обусловленного вдыханием пыли при работе на орошаемой территории, максимальная допустимая удельная активность i -го радионуклида в воде водного объекта (участка водного объекта) из рассматриваемых в составе водной системы определяется по соотношению:

$$MUA_i^{доз} = \frac{\delta}{F_{i,инг} \cdot I_{инг} \cdot \tau \cdot K_{пыль,i}}, \quad (11)$$

где: δ – квота на облучение от сбросов, определенная в п. 8 настоящей Методики; $F_{i,инг}$ – дозовый коэффициент для ингаляции, мЗв/Бк; $I_{инг}$ – количество воздуха, вдыхаемого человеком за год, м³/год; $K_{пыль,i}$ – коэффициент перехода радионуклидов из воды, используемой для полива, через почву в воздух за счет вторичного ветрового подъема пыли и за счет подъема пыли в результате пахоты, безразмерная величина; τ – доля времени облучения в течение года, безразмерная величина.

V. Типовые элементы для анализа водной системы и определение факторов разбавления

25. В основу определения факторов разбавления в водных объектах, рассматриваемых в составе водной системы, положена модель, учитывающая перераспределение радионуклидов между водной массой и донными отложениями.

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 (менее 20 %) по сравнению с расходом основного потока и отсутствуют устойчивые водоворотные области (далее – однородный поток);

водный объект, являющийся водоемом, площадь поверхности которого не превышает 400 км² (далее - однородный водоем);

водный объект, являющийся водоемом, площадь поверхности которого превышает 400 км² (далее – большой водоем).

26. Для однородного потока для любого радионуклида фактор разбавления Φ для ближнего по отношению к источнику сбросов радиоактивных веществ (сбросов радиоактивных сточных вод) участка водного объекта, для которого выполняется соотношение:

$$x < 7 \cdot H, \quad (12)$$

где: x – продольная координата вдоль по течению водотока с началом в точке сброса, м; H – глубина водотока, соответствующая минимальному за последние 30 лет расходу воды в водотоке с учетом притоков, м, рассчитывается по формуле, не учитывающей разбавление сброса радиоактивных сточных вод:

$$\Phi = \Phi_1 = \frac{1}{3,15 \cdot 10^7 Q_{disch}}, \quad (13)$$

а для участков водного объекта, на которых соотношение (12) не выполняется, - по формуле, учитывающей разбавление сброса радиоактивных сточных вод:

$$\Phi = \Phi_2 = \frac{1}{3,15 \cdot 10^7 (Q + Q_{disch})} \left[1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \exp\left(-\frac{n^2 \pi^2 (x + \xi) D_{mnp}}{B^2 V}\right) \cos\left(\frac{z_s n \pi}{B}\right) \cos\left(\frac{z n \pi}{B}\right) \right], \quad (14)$$

где: Q_{disch} – средний расход воды в сбросном канале источника сбросов радиоактивных веществ (сбросов радиоактивных сточных вод), м³/с; Q – минимальный за последние 30 лет расход воды в водотоке с учетом притоков, м³/с; D_{mnp} – коэффициент турбулентной дисперсии в поперечном к течению направлении z , м²/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; ξ – параметр, м, значение которого определяется соотношениями:

$$\xi = \begin{cases} \mu - 7 \cdot H, & \text{если } \Phi_2(x = 7 \cdot H) > \Phi_1 \\ 0, & \text{если } \Phi_2(x = 7 \cdot H) \leq \Phi_1 \end{cases}, \quad (15)$$

$$\text{где } \mu - \text{решение уравнения} \quad \Phi_2(x) = \Phi_1 \quad (16)$$

в пределах от 0 до $7H$ при $\xi=0$.

Для пути облучения лиц из населения, обусловленного внутренним поступлением радионуклидов за счет употребления в пищу водных животных, фактор разбавления Φ рассчитывается с помощью формулы (13); формула (14) и соотношения (15) – (16) при этом не используются. Для пути облучения лиц из населения, обусловленного внутренним поступлением радионуклидов за счет употребления в пищу водных растений, фактор разбавления Φ рассчитывается либо с помощью формулы (13), либо с помощью формулы (14) и соотношений (15) – (16) 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 указанных характеристик вдоль водотока, то данный водоток должен быть разбит на несколько участков (однородных потоков). Для каждого из этих участков должно быть вычислено значение фактора разбавления, соответствующее именно этому участку.

При расчете Φ_i по формуле (14) и соотношениям (15) – (16) 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).

Для определения коэффициента турбулентной дисперсии в поперечном к течению направлении $D_{\text{тур}}$ 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 места сброса в соответствии с формулой:

$$D_{\text{тур}} = \frac{L_2^2 - L_1^2}{32 \cdot (t_2 - t_1)}, \quad (17)$$

где: L_1 , L_2 – ширина шлейфа рассеяния i -го радионуклида или подогретых вод по поперечному сечению потока для первого и второго створов, соответственно, м; t_1 и t_2 – время добега воды от места сброса до первого и второго створа, соответственно, с.

При невозможности проведения натурных исследований допускается использовать расчетные зависимости:

$$D_{\text{мур}} = \alpha_{\text{riv}} H u_*, \quad (18)$$

где: α_{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 у дна, м/с, определяемая по формуле:

$$u_* = \sqrt{g H I}, \quad (19)$$

где: I – гидравлический уклон, безразмерен; g – ускорение свободного падения, м/с^2 .

Для оценок значения величины u_* допустимо использовать зависимость:

$$u_* = 0,1 \cdot V, \quad (20)$$

где V – скорость водотока, м/с .

27. Для однородного водоема фактор разбавления i -го радионуклида при постоянном сбросе в равновесных условиях определяется по формуле:

$$\Phi_i = \left[W_s + W_f + W_t + W_e + \lambda_i \cdot V_p \right]^{-1}, \quad (21)$$

где: 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, м^3 , λ_i – постоянная распада i -го радионуклида, с^{-1} .

28. При сбросе в большой водоем факторы разбавления Φ_i для i -го радионуклида рассчитываются по следующим формулам:

1) для путей внешнего облучения лиц из населения:

$$\Phi_i = \frac{962 \cdot U^{0,17}}{D \cdot x^{1,17}} \cdot \exp \left[\frac{(-7,28 \times 10^5) \cdot U^{2,34} \cdot y_0^2}{x^{2,34}} \right] \exp \left(-\frac{\lambda_i x}{U} \right), \quad (22)$$

где: U – скорость прибрежного течения, м/с ; D – глубина большого водоема в области точки сброса, м ; λ_i – постоянная распада i -го радионуклида, с^{-1} ; x – расстояние от источника сбросов радиоактивных веществ (сбросов радиоактивных сточных вод) 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:

$$\Phi_i = \frac{962 \cdot U^{0,17}}{D \cdot x^{1,17}} \cdot \exp \left(-\frac{\lambda_i x}{U} \right). \quad (23)$$

При этом значения входящих в формулы (22) и (23) пространственных переменных должны удовлетворять следующим условиям:

$$\frac{y - y_0}{x} \ll 3,7 \quad \text{и} \quad 7D < x, \quad (24)$$

где: y – расстояние от береговой линии до точки, где определяется фактор разбавления, м.

29. 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 затем, для целей расчетов нормативов ДС в соответствии с главой VI настоящей Методики, выбрать из них факторы разбавления, характерные для критических участков.

VI. Порядок расчета нормативов допустимых сбросов радиоактивных веществ в водные объекты для водопользователей

30. Максимальная величина сброса $ДС_{i,n}^{доз}$ (Бк/год), при которой не превышает установленная для организации квота на облучение от сбросов δ по всем путям воздействия, определенная из условия, что весь сброс организации осуществляется только через данный n -ый источник сброса и при этом из него сбрасывается только i -ый радионуклид, которая с учетом перераспределения активности между водой и донными отложениями рассчитывается по формуле:

$$ДС_{i,n}^{доз} = \min_l \left(\frac{1}{\sum_j \frac{\Phi_{i,n,j,l}}{(1+S_s \cdot K_{нд,i,l}) \cdot МУА_{i,n,j,l}^{доз}}} \right), \quad (25)$$

где: $\Phi_{i,n,j,l}$ – фактор разбавления для i -го радионуклида из n -ого источника сброса на критическом участке для j -го пути облучения критической группы лиц из населения на критическом участке l , год/м³; $МУА_{i,n,j}^{доз}$ – максимальная удельная активность в воде i -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 квота на облучения от сбросов δ , Бк/м³, $K_{нд,i,l}$ – коэффициент межфазного распределения радионуклида i между водой и донными отложениями на l -том критическом участке, м³/кг; S_s – концентрация взвеси донных отложений в водном объекте.

Вычисление значений максимальных удельных активностей $МУА_{i,n,j}^{доз}$ проводится согласно соотношениям (7) и (10) и (11). Расчет факторов разбавления $\Phi_{i,n,j}$ выполняется по формулам (13) – (24).

31. Максимальная величина сброса $ДС_{i,n}^{ПВ}$ (Бк/год), при которой не будут нарушены установленные в приложении 2а к НРБ-99/2009 уровни вмешательства по содержанию радионуклидов в питьевой воде $УВ_i$, Бк/кг, определяется по формуле:

$$ДС_{i,n}^{ПВ} = \frac{10^3 \cdot УВ_i}{\Phi_{i,n}}, \quad (26)$$

где: $\Phi_{i,n}$ – фактор разбавления для i -го радионуклида из n -ого источника сброса на критическом участке, год/м³.

32. Максимальная величина сброса $ДС_{i,n}^{ДО}$ (Бк/год) определяется из условия неперевышения значениями удельной активности радионуклидов в донных отложениях уровней, при которых допускается неограниченное использование твердых материалов, которая с учетом перераспределения активности между водой и донными отложениями рассчитывается по формуле:

$$ДС_{i,n}^{ДО} = \min_l \left(\frac{УАНИ_i}{0,1 \cdot K_{нд,i,l} \cdot (1 + S_s \cdot K_{нд,i,l})^{-1} \cdot \frac{1 - e^{-\lambda_i T_e}}{\lambda_i T_e} \cdot \Phi_{i,n,l}} \right), \quad (27)$$

где: $\Phi_{i,n,l}$ – фактор разбавления для n -ого источника сброса по отношению к l -тому критическому участку, год/м³; l – номер критического участка; T_e – эффективное время накопления радионуклида в донных отложениях водного объекта, принимаемое равным одному году; λ_i – постоянная распада i -го радионуклида, с⁻¹.

33. Максимальная величина сброса $ДС_{i,n}^{ОА}$ (Бк/год) рассчитывается согласно пункту 10 настоящей Методики.

34. При проведении расчетов нормативов ДС организации учет сбросов других организаций в данную водную систему не требуется, так как каждая организация осуществляет сбросы в рамках выделенной для нее квоты на облучение от сбросов δ , а значения $УАНИ_i$ в рамках настоящей Методики используются только как критерий для установления нормативов ДС организации.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

УТВЕРЖДЕНО
приказом Федеральной службы
по экологическому, технологическому
и атомному надзору
от 25 июля 2017 г. № 281

РУКОВОДСТВО ПО БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

«РЕКОМЕНДУЕМЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ НОРМАТИВОВ ДОПУСТИМЫХ СБРОСОВ РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ»

I. Общие положения

1. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии «Рекомендуемые методы расчета параметров, необходимых для разработки нормативов допустимых сбросов радиоактивных веществ в водные объекты» (РБ-126-17) (далее – Руководство по безопасности) разработано в соответствии со статьей 6 Федерального закона от 21 ноября 1995 г. № 170-ФЗ «Об использовании атомной энергии» в целях содействия соблюдению требований федеральных норм и правил в области использования атомной энергии «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций» (НП-001-15), утвержденных приказом Ростехнадзора от 17 декабря 2015 г. (зарегистрирован Министерством юстиции Российской Федерации 2 февраля 2016 г., регистрационный № 40939); федеральных норм и правил в области использования атомной энергии «Общие положения обеспечения безопасности объектов ядерного топливного цикла (ОПБ ЯТЦ)» (НП-016-05), утвержденных постановлением Ростехнадзора от 2 декабря 2005 г. № 11 (зарегистрировано Министерством юстиции Российской Федерации 1 февраля 2006 г., регистрационный № 7433); федеральных норм и правил в области использования атомной энергии «Общие положения обеспечения безопасности исследовательских ядерных установок» (НП-033-11), утвержден-

ных приказом Ростехнадзора от 30 июня 2011 г. № 348 (зарегистрирован Министерством юстиции Российской Федерации 29 августа 2011 г., регистрационный № 21700) и федеральных норм и правил в области использования атомной энергии «Безопасность при обращении с радиоактивными отходами. Общие положения» (НП-058-14), утвержденных приказом Ростехнадзора от 5 августа 2014 г. № 347 (зарегистрирован Министерством юстиции Российской Федерации 14 ноября 2014 г., регистрационный № 34701).

2. Настоящее Руководство по безопасности содержит рекомендуемые Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору методы расчета параметров, используемых для разработки нормативов допустимых сбросов радиоактивных веществ в водные объекты.

3. Настоящее Руководство по безопасности предназначено для применения организациями, осуществляющими разработку нормативов допустимых сбросов радиоактивных веществ в водные объекты, а также специалистами Ростехнадзора, осуществляющими оценку и утверждение нормативов допустимых сбросов радиоактивных веществ в водные объекты.

4. Требования федеральных норм и правил в области использования атомной энергии могут быть выполнены с использованием иных методов, чем те, которые содержатся в настоящем Руководстве по безопасности, при обоснованности выбранных методов.

II. Рекомендуемые методы расчета радиозэкологических параметров, используемых для разработки нормативов допустимых сбросов радиоактивных веществ в водные объекты

5. Параметры, используемые для разработки нормативов допустимых сбросов (далее – ДС) радиоактивных веществ в водные объекты, рекомендуется рассчитывать в соответствии с соотношениями, изложенными в настоящем Руководстве по безопасности.

6. Для определения максимальных удельных активностей радионуклидов в воде водных объектов (далее – МУА), расчет которых требуется в соответствии с разделом VI Методики разработки нормативов допустимых сбросов радиоактивных веществ в водные объекты для водопользователей (далее – Методика), рекомендуется руководствоваться пунктами 7 – 27 настоящего Руководства по безопасности. Пример расчета МУА приведен в приложении № 1 к настоящему Руководству по безопасности.

7. При расчете МУА r -го радионуклида в воде водного объекта для пути внешнего облучения, связанного с купанием в водном объекте, рекомендуется формулу (7) Методики привести к следующему виду:

$$МУА_r^{купание} = \frac{1}{3,15 \cdot 10^7} \cdot \frac{\delta}{F_{r,внеш} \cdot \tau_{купание}}, \quad (1)$$

Часть II. Регулирование сбросов радиоактивных веществ в водные объекты

где δ – 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, $(Зв \cdot м^3) \cdot (Бк \cdot с)^{-1}$, рекомендуемые значения которого приведены в таблице № 1 приложения № 2 к настоящему Руководству по безопасности;

$\tau_{купание}$ – время купания в долях года (безразмерная величина) (в случае отсутствия данных местных натуральных исследований рекомендуется использовать значение из таблицы № 2 приложения № 2 к настоящему Руководству по безопасности).

8. При расчете МУА r -го радионуклида в воде водного объекта для пути внешнего облучения, связанного с добычей (выловом) водных биологических ресурсов, рекомендуется формулу (7) Методики привести к следующему виду:

$$МУА_r^{рыболовство} = \frac{1}{3,15 \cdot 10^7} \cdot \frac{\delta}{F_{r,внеш} \cdot \tau_{рыболовство}}, \quad (2)$$

где δ – квота от 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, $(Зв \cdot м^3) \cdot (Бк \cdot с)^{-1}$, рекомендуемые значения которого приведены в таблице № 1 приложения № 2 к настоящему Руководству по безопасности;

$\tau_{рыболовство}$ – время рыбной ловли в долях года (безразмерная величина) (в случае отсутствия данных местных натуральных исследований рекомендуется использовать значение из таблицы № 2 приложения № 2 к настоящему Руководству по безопасности).

9. При расчете МУА r -го радионуклида в воде водного объекта для пути внешнего облучения, связанного с пребыванием на пляже, рекомендуется формулу (7) Методики привести к следующему виду:

$$МУА_r^{пребывание на пляже} = \frac{1}{3,15 \cdot 10^7} \cdot \frac{\delta}{0,2 \cdot f_r \cdot \rho_s \cdot \Delta \cdot K_d^r \cdot \tau_{пребывание на пляже}}, \quad (3)$$

где δ – квота от ПД на сбросы, выделенная для данной организации, Зв/год;

$3,15 \cdot 10^7$ – количество секунд в году;

f_r – дозовый коэффициент, равный мощности эквивалентной дозы от поверхностного загрязнения почвы r -ым радионуклидом с единичной поверхностной активностью, $(Зв \cdot м^2) \cdot (Бк \cdot с)^{-1}$, рекомендуемые значения которого приведены в таблице № 1 приложения № 2 к настоящему Руководству по безопасности;

ρ_s – плотность загрязненной почвы, $кг/м^3$ (в случае отсутствия данных местных натуральных исследований рекомендуется принимать равной $1200 кг/м^3$);

Δ – толщина загрязненного радионуклидами слоя почвы, м (в случае отсутствия данных местных натуральных исследований рекомендуется принимать равной $0,02$ м);

$\tau_{\text{пребывание на пляже}}$ – время пребывания на пляже в долях года (безразмерная величина) (в случае отсутствия данных местных натуральных исследований рекомендуется использовать значение из таблицы № 2 приложения № 2 к настоящему Руководству по безопасности);

K_d^r – коэффициент межфазного распределения «вода-почва», $м^3/кг$, который рекомендуется рассчитывать по формуле:

$$K_d^r = 6 \cdot \frac{1 - e^{-\lambda_r \cdot T_e}}{\lambda_r \cdot T_e} \cdot K_{нд}^r, \quad (4)$$

где λ_r – постоянная распада радионуклида, $год^{-1}$;

T_e – эффективное время накопления радионуклидов в донных отложениях, которое в случае отсутствия данных местных натуральных исследований рекомендуется принять равным одному году;

$K_{нд}^r$ – коэффициент межфазного распределения радионуклида r между водой и донными отложениями, $м^3/кг$ (в случае отсутствия данных местных натуральных исследований рекомендуется использовать данные из таблиц № 3 и № 4 приложения № 2 к настоящему Руководству по безопасности).

10. При расчете МУА r -го радионуклида в воде водного объекта для пути внешнего облучения, связанного с пребыванием в поймах рек, рекомендуется формулу (7) Методики привести к следующему виду:

$$МУА_r^{\text{пребывание в пойме}} = \frac{1}{3,15 \cdot 10^7} \cdot \frac{\delta}{f_r \cdot \rho_s \cdot \Delta \cdot K_d^r \cdot \tau_{\text{пребывание в пойме}}}, \quad (5)$$

где δ – квота от ПД на сбросы, выделенная для данной организации, $Зв/год$;

$3,15 \cdot 10^7$ – количество секунд в году;

Часть II. Регулирование сбросов радиоактивных веществ в водные объекты

f_r – дозовый коэффициент, равный мощности эквивалентной дозы от поверхностного загрязнения почвы r -ым радионуклидом с единичной поверхностной активностью, $(Зв \cdot м^2) \cdot (Бк \cdot с)^{-1}$, рекомендуемые значения которого приведены в таблице № 1 приложения № 2 к настоящему Руководству по безопасности;

ρ_s – плотность загрязненной почвы, $кг/м^3$ (в случае отсутствия данных местных натуральных исследований рекомендуется принимать равной $1200 кг/м^3$);

Δ – толщина загрязненного радионуклидами слоя почвы, м (в случае отсутствия данных местных натуральных исследований рекомендуется принимать равной $0,02$ м);

K_d^r – коэффициент межфазного распределения «вода-почва», $м^3/кг$, который рекомендуется рассчитывать по формуле (4) пункта 9 настоящего Руководства по безопасности;

$\tau_{\text{пребывание в пойме}}$ – время пребывания в пойме реки в долях года (безразмерная величина) (в случае отсутствия данных местных натуральных исследований рекомендуется использовать значение из таблицы № 2 приложения № 2 к настоящему Руководству по безопасности).

11. При расчете МУА r -го радионуклида в воде водного объекта для пути внешнего облучения, связанного с пребыванием на орошаемых сельскохозяйственных угодьях, рекомендуется формулу (7) Методики привести к следующему виду:

$$МУА_r^{\text{пребывание на орош. тер-ях}} = \frac{1}{3,15 \cdot 10^7} \cdot \frac{\delta}{f_r \cdot q_{ор} \cdot \frac{1 - e^{-\lambda_r \cdot T_{ор}}}{\lambda_r} \cdot \tau_{\text{пребывание на орош. тер-ях}}}, \quad (6)$$

где δ – квота от ПД на сбросы, выделенная для данной организации, $Зв/год$;

$3,15 \cdot 10^7$ – количество секунд в году;

f_r – дозовый коэффициент, равный мощности эквивалентной дозы от поверхностного загрязнения почвы r -ым радионуклидом с единичной поверхностной активностью, $(Зв \cdot м^2) \cdot (Бк \cdot с)^{-1}$, рекомендуемые значения которого приведены в таблице № 1 приложения № 2 к настоящему Руководству по безопасности;

$q_{ор}$ – расход воды на орошение, $м^3/(м^2 \cdot год)$ (в случае отсутствия данных местных натуральных исследований рекомендуется принимать равным $0,475 м^3/(м^2 \cdot год)$);

$T_{ор}$ – длительность орошения, год (рекомендуется принимать равной среднему времени проживания человека на загрязненной радионуклидами поверхности земли – 50 лет);

λ_r – постоянная распада радионуклида, $год^{-1}$;

$\tau_{\text{пребывание на орош. тер-ях}}$ – время пребывания на орошаемых территориях в долях года (безразмерная величина) (в случае отсутствия данных местных натуральных исследований рекомендуется использовать значение из таблицы № 2 приложения № 2 к настоящему Руководству по безопасности).

12. При расчете МУА r -го радионуклида в воде водного объекта для пути внутреннего облучения, обусловленного потреблением рыбы, рекомендуется формулу (10) Методики привести к следующему виду:

$$МУА_r^{\text{потребление рыбы}} = \frac{\delta}{F_{\text{нищ}}^r \cdot K_{P,r} \cdot I_{r,\text{fish}}}, \quad (7)$$

где δ – квота от ПД на сбросы, выделенная для данной организации, Зв/год;

$F_{\text{нищ}}^r$ – коэффициент дозового преобразования при пероральном пути поступления радионуклида r для возрастной группы, являющейся критической по данному пути, в соответствии с приложением № 2 к СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности», утвержденным постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 7 июля 2009 г. № 47 (зарегистрированы Министерством юстиции Российской Федерации 14 августа 2009 г., регистрационный № 14534) (далее – НРБ-99/2009), Зв/Бк;

$K_{P,r}$ – коэффициент накопления радионуклида r в рыбе, м³/кг (в случае отсутствия местных натуральных исследований рекомендуется принимать для пресноводной рыбы значения из таблицы № 5 приложения № 2 к настоящему Руководству по безопасности, а для морской рыбы – значения из таблицы № 6 приложения № 2 к настоящему Руководству по безопасности);

$I_{r,\text{fish}}$ – годовое потребление рыбы лицом из возрастной группы, которая является критической по пероральному пути поступления радионуклида r , кг/год (рекомендуется определять по формуле (21) пункта 25 настоящего Руководства по безопасности).

13. При расчете МУА r -го радионуклида в воде водного объекта для пути внутреннего облучения, обусловленного потреблением плодоовощной продукции с орошаемых сельскохозяйственных угодий, рекомендуется формулу (10) Методики привести к следующему виду:

$$МУА_r^{\text{потребление овощей}} = \frac{\delta}{F_{\text{нищ}}^r \cdot K_{\text{veg},r} \cdot I_{r,\text{vegs}}}, \quad (8)$$

где δ – квота от ПД на сбросы, выделенная для данной организации, Зв/год;

F_{nuic}^r – коэффициент дозового преобразования при пероральном пути поступления радионуклида r для возрастной группы, являющейся критической по данному пути, в соответствии с приложением № 2 к НРБ-99/2009, Зв/Бк;

$K_{veg,r}$ – коэффициент перехода радионуклидов от воды по пищевым цепочкам в плодоовощные культуры, м³/кг (рекомендуется определять по формуле (15) пункта 20 настоящего Руководства по безопасности);

$I_{r,veg}$ – годовое потребление плодоовощной продукции лицом из возрастной группы, которая является критической по пероральному пути поступления радионуклида r , кг/год (рекомендуется определять по формуле (21) пункта 25 настоящего Руководства по безопасности).

14. При расчете МУА r -го радионуклида в воде водного объекта для пути внутреннего облучения, обусловленного потреблением мяса скота, в организм которого радионуклид попадает за счет водопоя, рекомендуется формулу (10) Методики привести к следующему виду:

$$МУА_r^{потребление\ мяса\ (водопой)} = \frac{\delta}{F_{nuic}^r \cdot K_{meat(watering\ place),r} \cdot I_{r,meat}}, \quad (9)$$

где δ – квота от ПД на сбросы, выделенная для данной организации, Зв/год;

F_{nuic}^r – коэффициент дозового преобразования при пероральном пути поступления радионуклида r для возрастной группы, являющейся критической по данному пути, в соответствии с приложением № 2 к НРБ-99/2009, Зв/Бк;

$K_{meat(watering\ place),r}$ – коэффициент перехода радионуклидов из воды по пищевым цепочкам в мясо скота за счет его водопоя, м³/кг (рекомендуется определять по формуле (16) пункта 21 настоящего Руководства по безопасности);

$I_{r,meat}$ – годовое потребление мяса лицом из возрастной группы, которая является критической по пероральному пути поступления радионуклида r , кг/год (рекомендуется определять по формуле (21) пункта 25 настоящего Руководства по безопасности).

15. При расчете МУА r -го радионуклида в воде водного объекта для пути внутреннего облучения, обусловленного потреблением молока скота, в организм которого радионуклид попадает за счет водопоя, рекомендуется формулу (10) Методики привести к следующему виду:

$$МУА_r^{потребление\ молока\ (водопой)} = \frac{\delta}{F_{nuic}^r \cdot K_{milk(watering\ place),r} \cdot I_{r,milk}}, \quad (10)$$

где δ – квота от ПД на сбросы, выделенная для данной организации, Зв/год;

$F_{нищ}^r$ – коэффициент дозового преобразования при пероральном пути поступления радионуклида r для возрастной группы, являющейся критической по данному пути, в соответствии с приложением № 2 к НРБ-99/2009, Зв/Бк;

$K_{milk(wateringplace),r}$ – коэффициент перехода радионуклидов из воды по пищевым цепочкам в молоко скота за счет его водопоя, м³/кг (рекомендуется определять по формуле (17) пункта 21 настоящего Руководства по безопасности);

$I_{r,milk}$ – годовое потребление молока лицом из возрастной группы, которая является критической по пероральному пути поступления радионуклида r , кг/год (рекомендуется определять по формуле (21) пункта 25 настоящего Руководства по безопасности).

16. При расчете 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, рекомендуется формулу (10) Методики привести к следующему виду:

$$МУА_r^{потребление\ мяса\ (выпас)} = \frac{\delta}{F_{нищ}^r \cdot K_{meat(pasture),r} \cdot I_{r,meat}}, \quad (11)$$

где δ – квота от ПД на сбросы, выделенная для данной организации, Зв/год;

$F_{нищ}^r$ – коэффициент дозового преобразования при пероральном пути поступления радионуклида r для возрастной группы, являющейся критической по данному пути, в соответствии с приложением № 2 к НРБ-99/2009, Зв/Бк;

$K_{meat(pasture),r}$ – коэффициент перехода радионуклидов из воды по пищевым цепочкам в мясо скота за счет его выпаса на орошаемых землях, м³/кг (рекомендуется определять по формуле (18) пункта 22 настоящего Руководства по безопасности);

$I_{r,meat}$ – годовое потребление мяса лицом из возрастной группы, которая является критической по пероральному пути поступления радионуклида r , кг/год (рекомендуется определять по формуле (21) пункта 25 настоящего Руководства по безопасности).

17. При расчете 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, рекомендуется формулу (10) Методики привести к следующему виду:

$$МУА_r^{потребление\ молока\ (выпас)} = \frac{\delta}{F_{нищ}^r \cdot K_{milk(pasture),r} \cdot I_{r,milk}}, \quad (12)$$

где δ – квота от ПД на сбросы, выделенная для данной организации, Зв/год;

$F_{\text{пищ}}^r$ – коэффициент дозового преобразования при пероральном пути поступления радионуклида r для возрастной группы, являющейся критической по данному пути, в соответствии с приложением № 2 к НРБ-99/2009, Зв/Бк;

$K_{\text{milk}(pasture),r}$ – коэффициент перехода радионуклидов из воды по пищевым цепочкам в молоко скота за его счет выпаса на орошаемых землях, м³/кг (рекомендуется определять по формуле (19) пункта 22 настоящего Руководства по безопасности);

$I_{r,\text{milk}}$ – годовое потребление молока лицом из возрастной группы, которая является критической по пероральному пути поступления радионуклида r , кг/год (рекомендуется определять по формуле (21) пункта 25 настоящего Руководства по безопасности).

18. При расчетах максимальной величины сброса, при которой не превышает установленная для организации квота на облучение от сбросов, в соответствии с формулой (26) Методики рекомендуется учитывать путь облучения, связанный с заглатыванием воды при купании. Для этого рекомендуется предусмотреть в формуле (26) Методики наличие величины MUA_r^{WD} , рассчитываемой по формуле:

$$MUA_r^{WD} = \frac{\delta}{F_{\text{пищ}}^r \cdot V_{WD} \cdot \tau_{\text{купание}}}, \quad (13)$$

где δ – квота от ПД на сбросы, выделенная для данной организации, Зв/год;

$F_{\text{пищ}}^r$ – коэффициент дозового преобразования при пероральном пути поступления радионуклида r для возрастной группы, являющейся критической по данному пути, в соответствии с приложением № 2 к НРБ-99/2009, Зв/Бк;

V_{WD} – объем воды, заглатываемой человеком при купании, м³/год (рекомендуется принимать равным 0,429 м³/год для детей до 17 лет и 0,184 м³/год для взрослых);

$\tau_{\text{купание}}$ – время купания в долях года (безразмерная величина) (в случае отсутствия данных местных натуральных исследований рекомендуется использовать значение из таблицы № 2 приложения № 2 к настоящему Руководству по безопасности).

19. При расчетах максимальной величины сброса, при которой не превышает установленная для организации квота на облучение от сбросов, в соответствии с формулой (26) Методики рекомендуется учитывать путь облучения, связанный с поступлением в организм человека трития ингаляционным путем, пероральным путем и через кожные покровы. Для этого рекомендуется предусмотреть в формуле (26) Методики наличие MUA_{3H} , рассчитываемой по формуле:

$$MUA_{^3H} = \frac{\delta}{g_{^3H} \cdot 10^{-3}}, \quad (14)$$

где δ – квота от ПД на сбросы, выделенная для данной организации, Зв/год;

$g_{^3H}$ – дозовый коэффициент для 3H , который рекомендуется принять равным $2,6 \cdot 10^{-8}$ (Зв·л)/(Бк·год).

20. Коэффициент перехода радионуклидов от воды по пищевым цепочкам в плодоовощные культуры рекомендуется рассчитывать по формуле:

$$K_{veg,r} = \left(q_{op} \cdot \alpha_2 \cdot \frac{1 - e^{-(\lambda_r + \lambda_{s,r}) \cdot t_e}}{(\lambda_r + \lambda_w)} + Fv_r \cdot \frac{120}{365} \cdot q_{op} \cdot \frac{1 - e^{-(\lambda_r + \lambda_{s,r}) \cdot t_b}}{(\lambda_r + \lambda_{s,r}) \cdot \rho} \right) \cdot e^{-\lambda_r \cdot t_h}, \quad (15)$$

где q_{op} – средний за поливной период (в случае отсутствия местных натуральных исследований рекомендуется принимать равным 120 дням) расход воды на единицу площади почвы, который рекомендуется принимать равным $1,3 \cdot 10^{-3}$ м³/(м²·сут);

α_2 – фактор удержания для плодоовощных культур, потребляемых в пищу человеком, рекомендуется принимать равным 0,3 м²/кг сырого веса;

t_e – период времени (в течение вегетационного периода), в течение которого происходит улавливание радиоактивных выпадений поверхностью растений (в случае отсутствия данных местных натуральных исследований рекомендуется принимать равным 30 сут);

λ_r – постоянная распада радионуклида r , сут⁻¹;

λ_w – постоянная величина, характеризующая снижение содержания радионуклидов на поверхности растений за счет всех процессов, за исключением радиоактивного распада (в случае отсутствия данных местных натуральных исследований рекомендуется принимать равной 0,05 сут⁻¹);

$\lambda_{s,r}$ – постоянная, характеризующая процессы снижения содержания радионуклидов в корневом слое почвы за счет всех процессов, за исключением радиоактивного распада (в случае отсутствия данных местных натуральных исследований рекомендуется принимать равной 0,00014 сут⁻¹ для изотопов цезия и стронция или равной 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 – параметр, равный $1,1 \cdot 10^4$ сут (30 лет);

ρ – поверхностная плотность корневого слоя почвы (в случае отсутствия данных местных натуральных исследований рекомендуется принимать равной 260 кг/м² для почвы, используемой для пастбищ, и 130 кг/м² – для почвы, используемой для выращивания плодоовощных культур);

t_h – время между сбором урожая и потреблением плодовоовощных культур (в случае отсутствия данных местных натуральных исследований рекомендуется принимать равным 90 сут).

21. Коэффициенты перехода по молочной и мясной цепочкам за счет водопоя скота рекомендуется рассчитывать по формулам (16) и (17):

$$K_{meat(watering\ place),r} = F_{meat,r}^f \cdot Q_{meat}^w \cdot e^{-\lambda_r \cdot t_f}, \quad (16)$$

$$K_{milk(watering\ place),r} = F_{milk,r}^m \cdot Q_{milk}^w \cdot e^{-\lambda_r \cdot t_m}, \quad (17)$$

где λ_r – постоянная распада, сут⁻¹;

Q_{milk}^w – суточный объем воды, потребляемый молочным скотом, в случае отсутствия данных местных натуральных исследований рекомендуется принимать равным 0,06 м³/сут;

Q_{meat}^w – суточный объем воды, потребляемый мясным скотом, в случае отсутствия данных местных натуральных исследований рекомендуется принимать равным 0,04 м³/сут;

t_m – время между надоем молока и его потреблением (в случае отсутствия данных местных натуральных исследований рекомендуется принимать равным 1 сут);

t_f – время между забоем скота и потреблением мяса (в случае отсутствия данных местных натуральных исследований рекомендуется принимать равным 20 сут);

$F_{milk,r}^m$ – доля активности радионуклида r (от суточного потребления корма скотом), которая попадает в литр молока, сут/л;

$F_{meat,r}^f$ – доля активности радионуклида r (от суточного потребления корма скотом), которая попадает в килограмм мяса, сут/кг.

22. Коэффициенты перехода по молочной и мясной цепочкам за счет выпаса скота рекомендуется рассчитывать по формулам (18) и (19):

$$K_{meat(pasture),r} = K_{forage,r} \cdot F_{meat,r}^f \cdot Q_{meat}^f \cdot e^{-\lambda_r \cdot t_f}, \quad (18)$$

$$K_{milk(pasture),r} = K_{forage,r} \cdot F_{milk,r}^m \cdot Q_{milk}^m \cdot e^{-\lambda_r \cdot t_m}, \quad (19)$$

где λ_r – постоянная распада, сут⁻¹;

Q_{milk}^m – суточная масса корма, потребляемая молочным скотом (в случае отсутствия данных местных натуральных исследований рекомендуется принимать равной 16 кг (сухого вещества)/сут);

Q_{meat}^f – суточная масса корма, потребляемая мясным скотом (в случае отсутствия данных местных натуральных исследований рекомендуется принимать равной 12 кг (сухого вещества)/сут);

$F_{milk,r}^m$ – доля активности радионуклида r (от суточного потребления корма скотом), которая попадает в литр молока, сут/л;

$F_{meat,r}^f$ – 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 случае отсутствия данных местных натуральных исследований рекомендуется принимать равным 1 сут);

t_f – время между забоем скота и потреблением мяса (в случае отсутствия данных местных натуральных исследований рекомендуется принимать равным 20 сут);

$K_{forage,r}$ – коэффициент перехода радионуклида r из загрязненной воды в корм, потребляемый скотом, м³/кг сухого веса.

23. Величину $K_{forage,r}$ рекомендуется рассчитывать по формуле:

$$K_{forager} = K_{forager}^1 \cdot f_p + K_{forager}^2 \cdot (1 - f_p), \quad (20)$$

где f_p – доля года, в течение которой скот питается подножным кормом (в случае отсутствия данных местных натуральных исследований рекомендуется принимать равной 0,7);

$K_{forage,r}^1$ – коэффициент перехода при выпасе скота, рассчитываемый аналогично коэффициенту $K_{vegs,r}$, со следующими параметрами: $t_h = 0$, $t_e = 30$ сут, с использованием параметра α_1 , равного 3 м²/кг (сухого веса), вместо α_2 , и с использованием FvI_r вместо Fv_r ;

$K_{forage,r}^2$ – коэффициент перехода при стойловом содержании скота, рассчитываемый аналогично коэффициенту $K_{vegs,r}$, со следующими рекомендуемыми параметрами: $t_h = 90$ сут, $t_e = 30$ сут, с использованием параметра α_1 , равного 3 м²/кг (сухого веса), вместо α_2 , и с использованием FvI_r вместо Fv_r .

24. Рекомендуемые значения величин Fv_r , FvI_r , $F_{milk,r}^m$, $F_{meat,r}^f$, используемых для расчетов МУА по формулам (9) – (12), приведены в таблице № 7 приложения № 2 к настоящему Руководству по безопасности.

25. Годовое потребление пищевых продуктов лицами из различных возрастных групп рекомендуется учитывать в расчетах по формуле:

$$I_{r,f} = \frac{E_g}{E_{g=6}} \cdot I_{f,g=6}, \quad (21)$$

где f – индекс, обозначающий пищевой продукт (рыба, плодоовощная продукция, мясо или молоко);

g – возрастная группа, являющаяся критической по потреблению пищевого продукта, в соответствии с таблицей 8.1 НРБ-99/2009 (принимает следующие значения: 1 – «дети в возрасте до 1 года», 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»);

E_g – суточные энергетические затраты для возрастной группы g , 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», кг/год.

В случае отсутствия данных местных натурных исследований рекомендуется годовое потребление продуктов лицом из возрастной группы «взрослые» принимать в соответствии с Рекомендациями по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания, утвержденными приказом Министерства здравоохранения Российской Федерации от 19 августа 2016 г. № 614. Значения суточных энергетических затрат для различных возрастных групп рекомендуется принимать согласно таблице № 8 приложения № 2 к настоящему Руководству по безопасности.

26. При расчете МУА r -го радионуклида в воде водного объекта для пути внутреннего облучения, обусловленного потреблением питьевой воды, рекомендуется использовать следующую формулу:

$$МУА_r^{WD} = \frac{10^3 \cdot \delta}{F_{пищ}^r \cdot V_D}, \quad (22)$$

где δ – квота от ПД на сбросы, выделенная для данной организации, Зв/год;

$F_{пищ}^r$ – коэффициент дозового преобразования при пероральном пути поступления радионуклида r для возрастной группы, являющейся критической по данному пути, в соответствии с приложением № 2 к НРБ-99/2009, Зв/Бк;

V_D – годовое потребление воды водного объекта, л/год, характерное для местности, где размещен объект использования атомной энергии (далее – ОИАЭ), для которого устанавливаются нормативы ДС.

27. При расчете фактора разбавления для однородного потока по формуле (14) Методики рекомендуется принимать число членов ряда n не менее тридцати.

28. При расчетах максимальной величины сброса, при которой не превышает установленная для организации квота на облучение от сбросов в соответствии с формулой (26) Методики, а также при расчетах по формуле (28) Мето-

дики рекомендуется в случае отсутствия данных местных натуральных исследований в формулах (26) и (28) значения коэффициентов $K_{нд}$ принимать в соответствии с таблицами № 3 и № 4 приложения № 2 к настоящему Руководству по безопасности.

III. Рекомендации по определению перечня радионуклидов, для которых устанавливаются нормативы допустимых сбросов, и по методам контроля сбросов

29. Определение перечня радионуклидов, для которых устанавливаются нормативы ДС, рекомендуется выполнять в несколько этапов:

1) для каждого входящего в состав сбросов из данного источника сбросов радионуклида из перечня радионуклидов, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды в соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации от 8 июля 2015 г. № 1316-р «Об утверждении перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования», провести расчет отношения (выраженного в процентах) годовой эффективной дозы облучения населения, обусловленной этим радионуклидом, к годовой эффективной дозе, обусловленной всеми радионуклидами, сбрасываемыми через этот источник сбросов (далее – Отношение);

2) произвести суммирование Отношений в порядке убывания их значений до достижения суммой значения, установленного в третьем абзаце пункта 7 Методики;

3) определить перечень радионуклидов, для которых устанавливаются нормативы ДС, приняв, что нормативы устанавливаются для радионуклидов, сумма Отношений для которых равна значению, установленному в третьем абзаце пункта 7 Методики.

30. В случае если фактическое содержание r -го радионуклида в сбросе не превышает нижний порог обнаружения используемых методик выполнения измерений, в целях определения необходимости установления для него норматива ДС, рекомендуется принимать его сброс в соответствии со следующим соотношением:

$$Q_r = 0,5 \cdot НПО_r \cdot V^{год}, \quad (23)$$

где $НПО_r$ – нижний порог обнаружения для r -го радионуклида, Бк/м³;
 $V^{год}$ – годовой объем сброса, м³/год.

31. В случае если сброс теплообменных вод от охлаждения агрегатов осуществляется через одно сбросное устройство в водоем, в который сбросы из других сбросных устройств не осуществляются, в целях определения перечня радионуклидов, для которых устанавливаются нормативы ДС в данном сбросном устройстве, рекомендуется принимать его сброс равным:

$$Q_r = (C_r^{сбр.в.} - C_r^{\phi}) \cdot V^{год}, \quad (24)$$

где $C_r^{сбр.в.}$ – содержание r -го радионуклида в сбросной воде, Бк/м³;
 C_r^{ϕ} – фоновое содержание r -го радионуклида в забираемой воде, Бк/м³;
 $V^{год}$ – годовой объем сброса, м³/год.

32. В целях определения перечня радионуклидов, для которых устанавливаются нормативы ДС, в случае если ни один из радионуклидов в сбросе не обнаруживается, рекомендуется использовать следующий пошаговый алгоритм:

1) рассчитать годовую эффективную дозу без учета рассеивания, создаваемую сбросами этих радионуклидов по следующему соотношению:

$$H_{с.р.} = \sum_r F_{инц}^r \cdot Q_r, \quad (25)$$

где $F_{инц}^r$ – коэффициент дозового преобразования при пероральном пути поступления радионуклида r для возрастной группы, являющейся критической по данному пути, в соответствии с приложением № 2 к НРБ-99/2009, Зв/Бк;

Q_r – сброс радионуклида r , рассчитанный по формуле (23), Бк/год;

2) определить перечень радионуклидов, вклад которых в рассчитанную по формуле (25) дозу равен значению, установленному в третьем абзаце пункта 7 Методики;

3) произвести повторный расчет годовой эффективной дозы без учета рассеивания по формуле (25) для отобранных на предыдущем шаге радионуклидов.

В случае если рассчитанная по рекомендациям подпункта 3) данного пункта настоящего Руководства по безопасности доза превышает значение, установленное в первом абзаце пункта 7 Методики, считать, что нормативы ДС устанавливаются для отобранных радионуклидов.

33. Рекомендации по установлению контрольных уровней сбросов радиоактивных веществ в водные объекты представлены в приложении № 3 к настоящему Руководству по безопасности.

ПРИЛОЖЕНИЕ № 1

к руководству по безопасности
при использовании атомной энергии
«Рекомендуемые методы расчета параметров,
необходимых для разработки нормативов
допустимых сбросов радиоактивных веществ
в водные объекты», утвержденному приказом
Федеральной службы по экологическому,
технологическому и атомному надзору
от 25 июля 2017 г. № 281

Пример расчета максимальных удельных активностей

1. Данное приложение содержит пример расчета МУА с использованием соотношений, приведенных в настоящем Руководстве по безопасности.

2. Рассмотрим следующий набор исходных данных:

1) в однородный водоем (озеро) осуществляются сбросы ^{137}Cs ;

2) для данного водного объекта характерны следующие виды водопользования: использование местным населением для отдыха (купание, рыбная ловля, пребывание на пляже);

водопой мясного и молочного скота;

3) квота от ПД на сбросы радиоактивных веществ для ОИАЭ, осуществляющего сбросы, составляет 50 мкЗв.

3. В таблице № 1 приведены значения параметров, необходимых для расчета МУА ^{137}Cs в воде озера для обозначенных выше путей облучения в соответствии с таблицами приложения № 2 к настоящему Руководству по безопасности.

Таблица № 1

Значения параметров, необходимых для расчета МУА

Параметр	Значение
δ , мкЗв	50
λ_r , сут ⁻¹	$6,33 \cdot 10^{-5}$
$F_{r, \text{внеш}}^r, \frac{\text{Зв} \cdot \text{м}^3}{\text{Бк} \cdot \text{с}}$	$5,83 \cdot 10^{-17}$
$f_r, \frac{\text{Зв} \cdot \text{м}^2}{\text{Бк} \cdot \text{с}}$	$5,79 \cdot 10^{-16}$
$F_{\text{птиц}}^r$, Зв/Бк	$1,3 \cdot 10^{-8}$
g	6
$K_{\text{нд}}^r$, м ³ /кг	$2,90 \cdot 10^1$
K_p , м ³ /кг	$1,50 \cdot 10^1$
$F_{\text{milk}, r}^m$, сут/л	$1,00 \cdot 10^{-1}$
$F_{\text{meat}, r}^f$, сут/кг	$3,0 \cdot 10^{-1}$
$\tau_{\text{купание}}$	0,011
$\tau_{\text{рыболовство}}$	0,022
$\tau_{\text{пребывание на пляже}}$	0,022
V_{WD}	0,184

Часть II. Регулирование сбросов радиоактивных веществ в водные объекты

4. МУА ^{137}Cs в воде озера для пути внешнего облучения «купание» рассчитывается по формуле (1) раздела II настоящего Руководства по безопасности:

$$МУА_{^{137}\text{Cs}}^{\text{купание}} = \frac{1}{3,15 \cdot 10^7} \cdot \frac{50 \cdot 10^{-6}}{5,83 \cdot 10^{-17} \cdot 0,011} = 2,48 \cdot 10^6 \text{ Бк} / \text{м}^3.$$

5. МУА ^{137}Cs в воде озера для пути внешнего облучения «рыболовство» рассчитывается по формуле (2) раздела II настоящего Руководства по безопасности:

$$МУА_{^{137}\text{Cs}}^{\text{рыболовство}} = \frac{1}{3,15 \cdot 10^7} \cdot \frac{50 \cdot 10^{-6}}{5,83 \cdot 10^{-17} \cdot 0,022} = 1,24 \cdot 10^6 \text{ Бк} / \text{м}^3.$$

6. МУА ^{137}Cs в воде озера для пути внешнего облучения «пребывание на пляже» рассчитывается по формуле (3) раздела II настоящего Руководства по безопасности:

$$МУА_{^{137}\text{Cs}}^{\text{пребывание на пляже}} = \frac{1}{3,15 \cdot 10^7} \cdot \frac{50 \cdot 10^{-6}}{0,2 \cdot 5,79 \cdot 10^{-16} \cdot 1200 \cdot 0,02 \cdot \left(6 \cdot \frac{1 - e^{-2,31 \cdot 10^{-2} \cdot 1}}{2,31 \cdot 10^{-2} \cdot 1} \cdot 2,9 \cdot 10^1 \right) \cdot 0,022} = 1,51 \cdot 10^2, \text{ Бк} / \text{м}^3.$$

7. Поскольку для ^{137}Cs критической группой населения по поступлению с пищей является группа «б», пересчет годового потребления продуктов питания для него не требуется.

В таблице № 2 приведены годовое потребление продуктов питания в условиях рассматриваемого примера.

Таблица № 2

Годовое потребления продуктов питания

Продукт	Потребление продуктов, кг/год
Молоко	300
Мясо	90
Рыба	20

8. МУА ^{137}Cs в воде озера для пути внутреннего облучения «потребление рыбы» рассчитывается по формуле (7) раздела II настоящего Руководства по безопасности:

$$МУА_{^{137}\text{Cs}}^{\text{потребление рыбы}} = \frac{50 \cdot 10^{-6}}{1,3 \cdot 10^{-8} \cdot 20 \cdot 1,5 \cdot 10^1} = 1,28 \cdot 10^1, \text{ Бк} / \text{м}^3.$$

9. МУА ^{137}Cs в воде озера для пути внутреннего облучения, связанного с заглатыванием воды при купании, рассчитывается по формуле (13) раздела II настоящего Руководства по безопасности:

$$МУА_{^{137}\text{Cs}}^{WD} = \frac{50 \cdot 10^{-6}}{1,3 \cdot 10^{-8} \cdot 0,011 \cdot 0,184} = 1,90 \cdot 10^6, \text{ Бк} / \text{м}^3.$$

10. Коэффициенты перехода по молочной и мясной цепочке рассчитываются по формулам (16) и (17) раздела II настоящего Руководства по безопасности:

$$K_{\text{milk}(\text{watering place}), ^{137}\text{Cs}} = 0,1 \cdot 0,06 \cdot e^{-6,33 \cdot 10^{-5} \cdot 1} = 6 \cdot 10^{-3}, \text{ м}^3 / \text{кг},$$

$$K_{\text{meat}(\text{watering place}), ^{137}\text{Cs}} = 0,3 \cdot 0,04 \cdot e^{-6,33 \cdot 10^{-5} \cdot 20} = 0,012, \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

11. МУА ^{137}Cs в воде озера для пути внутреннего облучения «потребление мяса» рассчитывается по формуле (9) раздела II настоящего Руководства по безопасности:

$$МУА_{137Cs}^{\text{потребление мяса}} = \frac{50 \cdot 10^{-6}}{1,3 \cdot 10^{-8} \cdot 90 \cdot 0,012} = 3,561 \cdot 10^3, \text{ Бк} / \text{м}^3.$$

12. МУА ^{137}Cs в воде озера для пути внутреннего облучения «потребление молока» рассчитывается по формуле (10) раздела II настоящего Руководства по безопасности:

$$МУА_{137Cs}^{\text{потребление молока}} = \frac{50 \cdot 10^{-6}}{1,3 \cdot 10^{-8} \cdot 300 \cdot 6 \cdot 10^{-3}} = 2,137 \cdot 10^3, \text{ Бк} / \text{м}^3.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ № 2
к руководству по безопасности
при использовании атомной энергии
«Рекомендуемые методы расчета параметров,
необходимых для разработки нормативов
допустимых сбросов радиоактивных веществ в
водные объекты», утвержденному приказом
Федеральной службы по экологическому,
технологическому и атомному надзору
от 25 июля 2017 г. № 281

**Рекомендуемые значения параметров, используемых при расчете
максимальных удельных активностей**

Таблица № 1

Рекомендуемые значения параметров $F_{r,внеш}$ и f_r *

Радионуклид	$F_{r,внеш}, \frac{\text{Зв} \cdot \text{м}^3}{\text{Бк} \cdot \text{с}}$	$f_r, \frac{\text{Зв} \cdot \text{м}^2}{\text{Бк} \cdot \text{с}}$
^{225}Ac	$1,41 \cdot 10^{-18}$	$1,47 \cdot 10^{-17}$
^{227}Ac	$1,14 \cdot 10^{-20}$	$1,41 \cdot 10^{-19}$
^{228}Ac	$9,70 \cdot 10^{-17}$	$9,39 \cdot 10^{-16}$
^{110m}Ag	$2,75 \cdot 10^{-16}$	$2,58 \cdot 10^{-15}$
^{241}Am	$1,54 \cdot 10^{-18}$	$2,33 \cdot 10^{-17}$
^{243}Am	$4,19 \cdot 10^{-18}$	$4,79 \cdot 10^{-17}$
^{217}At	$2,97 \cdot 10^{-20}$	$2,93 \cdot 10^{-19}$
^{218}At	$2,23 \cdot 10^{-19}$	$3,64 \cdot 10^{-18}$
^{198}Au	$3,91 \cdot 10^{-17}$	$4,07 \cdot 10^{-16}$
^{140}Ba	$1,74 \cdot 10^{-17}$	$1,90 \cdot 10^{-16}$
^{210}Bi	$2,98 \cdot 10^{-19}$	$3,51 \cdot 10^{-17}$
^{211}Bi	$4,45 \cdot 10^{-18}$	$4,40 \cdot 10^{-17}$
^{212}Bi	$1,90 \cdot 10^{-17}$	$2,25 \cdot 10^{-16}$
^{213}Bi	$1,31 \cdot 10^{-17}$	$1,68 \cdot 10^{-16}$
^{214}Bi	$1,57 \cdot 10^{-16}$	$1,44 \cdot 10^{-15}$

**Часть II. Регулирование сбросов радиоактивных веществ
в водные объекты**

Радионуклид	$F_{r,внеш}, \frac{Зв \cdot м^3}{Бк \cdot с}$	$f_r, \frac{Зв \cdot м^2}{Бк \cdot с}$
⁴⁵ Ca	$1,66 \cdot 10^{-20}$	$3,77 \cdot 10^{-20}$
⁴⁷ Ca	$1,09 \cdot 10^{-16}$	$1,00 \cdot 10^{-15}$
¹⁴¹ Ce	$6,80 \cdot 10^{-18}$	$6,93 \cdot 10^{-17}$
¹⁴⁴ Ce	$1,68 \cdot 10^{-18}$	$1,84 \cdot 10^{-17}$
³⁶ Cl	$1,95 \cdot 10^{-19}$	$1,12 \cdot 10^{-17}$
²⁴² Cm	$9,37 \cdot 10^{-21}$	$7,02 \cdot 10^{-19}$
²⁴³ Cm	$1,17 \cdot 10^{-17}$	$1,18 \cdot 10^{-16}$
²⁴⁴ Cm	$7,97 \cdot 10^{-21}$	$6,44 \cdot 10^{-19}$
⁵⁷ Co	$1,10 \cdot 10^{-17}$	$1,08 \cdot 10^{-16}$
⁵⁸ Co	$9,63 \cdot 10^{-17}$	$9,25 \cdot 10^{-16}$
⁶⁰ Co	$2,57 \cdot 10^{-16}$	$2,30 \cdot 10^{-15}$
⁵¹ Cr	$3,02 \cdot 10^{-18}$	$2,97 \cdot 10^{-17}$
¹³⁴ Cs	$1,53 \cdot 10^{-16}$	$1,48 \cdot 10^{-15}$
¹³⁷ Cs (+ ^{137m} Ba)	$5,83 \cdot 10^{-17}$	$5,79 \cdot 10^{-16}$
¹⁶⁹ Er	$3,24 \cdot 10^{-20}$	$6,75 \cdot 10^{-20}$
¹⁵² Eu	$1,14 \cdot 10^{-16}$	$1,08 \cdot 10^{-15}$
¹⁵⁴ Eu	$1,25 \cdot 10^{-16}$	$1,17 \cdot 10^{-15}$
¹⁵⁵ Eu	$4,81 \cdot 10^{-18}$	$5,35 \cdot 10^{-17}$
⁵⁹ Fe	$1,22 \cdot 10^{-16}$	$1,10 \cdot 10^{-15}$
²²¹ Fr	$2,90 \cdot 10^{-18}$	$2,84 \cdot 10^{-17}$
²²³ Fr	$4,67 \cdot 10^{-18}$	$7,76 \cdot 10^{-17}$
⁶⁷ Ga	$1,43 \cdot 10^{-17}$	$1,41 \cdot 10^{-16}$
¹⁹⁷ Hg	$5,11 \cdot 10^{-18}$	$5,79 \cdot 10^{-17}$
¹²³ I	$1,43 \cdot 10^{-17}$	$1,53 \cdot 10^{-16}$
¹²⁹ I	$6,57 \cdot 10^{-19}$	$1,95 \cdot 10^{-17}$
¹³¹ I	$3,67 \cdot 10^{-17}$	$3,64 \cdot 10^{-16}$
¹³² I	$2,27 \cdot 10^{-16}$	$2,20 \cdot 10^{-15}$
¹³³ I	$5,96 \cdot 10^{-17}$	$6,17 \cdot 10^{-16}$
¹³⁵ I	$1,63 \cdot 10^{-16}$	$1,47 \cdot 10^{-15}$
¹¹¹ In	$3,69 \cdot 10^{-17}$	$3,68 \cdot 10^{-16}$
¹⁹² Ir	$7,86 \cdot 10^{-17}$	$7,77 \cdot 10^{-16}$
⁴² K	$3,08 \cdot 10^{-17}$	$3,98 \cdot 10^{-16}$
¹⁴⁰ La	$2,40 \cdot 10^{-16}$	$2,16 \cdot 10^{-15}$
⁵⁴ Mn	$8,30 \cdot 10^{-17}$	$7,91 \cdot 10^{-16}$
⁹⁹ Mo	$1,49 \cdot 10^{-17}$	$1,78 \cdot 10^{-16}$
²² Na	$2,20 \cdot 10^{-16}$	$2,05 \cdot 10^{-15}$
²⁴ Na	$4,50 \cdot 10^{-16}$	$3,59 \cdot 10^{-15}$
⁹⁵ Nb	$7,57 \cdot 10^{-17}$	$7,28 \cdot 10^{-16}$
²³⁷ Np	$1,99 \cdot 10^{-18}$	$2,52 \cdot 10^{-17}$
²³⁹ Np	$1,53 \cdot 10^{-17}$	$1,54 \cdot 10^{-16}$
³² P	$6,45 \cdot 10^{-19}$	$8,52 \cdot 10^{-17}$
²³¹ Pa	$3,43 \cdot 10^{-18}$	$3,78 \cdot 10^{-17}$
²³³ Pa	$1,87 \cdot 10^{-17}$	$1,86 \cdot 10^{-16}$
²³⁴ Pa	$1,89 \cdot 10^{-16}$	$1,80 \cdot 10^{-15}$
^{234m} Pa	$1,98 \cdot 10^{-18}$	$1,08 \cdot 10^{-16}$

**Методическое пособие по вопросам регулирования выбросов
и сбросов радиоактивных веществ в окружающую среду**

Радионуклид	$F_{r,внеш}, \frac{Зв \cdot м^3}{Бк \cdot с}$	$f_r, \frac{Зв \cdot м^2}{Бк \cdot с}$
²⁰⁹ Pb	1,12 · 10 ⁻¹⁹	3,19 · 10 ⁻¹⁸
²¹⁰ Pb	1,04 · 10 ⁻¹⁹	2,13 · 10 ⁻¹⁸
²¹¹ Pb	5,31 · 10 ⁻¹⁸	9,50 · 10 ⁻¹⁷
²¹² Pb	1,37 · 10 ⁻¹⁷	1,35 · 10 ⁻¹⁶
²¹⁴ Pb	2,38 · 10 ⁻¹⁷	2,40 · 10 ⁻¹⁶
¹⁴⁷ Pm	9,65 · 10 ⁻²¹	2,80 · 10 ⁻²⁰
²¹⁰ Po	8,43 · 10 ⁻²²	8,09 · 10 ⁻²¹
²¹⁴ Po	8,26 · 10 ⁻²¹	7,93 · 10 ⁻²⁰
²¹⁶ Po	1,68 · 10 ⁻²¹	1,61 · 10 ⁻²⁰
²¹⁸ Po	9,10 · 10 ⁻²²	8,66 · 10 ⁻²¹
¹⁴⁴ Pr	4,76 · 10 ⁻¹⁸	1,63 · 10 ⁻¹⁶
^{144m} Pr	5,06 · 10 ⁻¹⁹	1,05 · 10 ⁻¹⁷
²³⁸ Pu	8,17 · 10 ⁻²¹	6,26 · 10 ⁻¹⁹
²³⁹ Pu	7,83 · 10 ⁻²¹	2,84 · 10 ⁻¹⁹
²⁴⁰ Pu	7,97 · 10 ⁻²¹	6,01 · 10 ⁻¹⁹
²⁴¹ Pu	1,41 · 10 ⁻²²	1,72 · 10 ⁻²¹
²²³ Ra	1,20 · 10 ⁻¹⁷	1,21 · 10 ⁻¹⁶
²²⁴ Ra	9,38 · 10 ⁻¹⁹	9,15 · 10 ⁻¹⁸
²²⁵ Ra	5,26 · 10 ⁻¹⁹	1,07 · 10 ⁻¹⁷
²²⁶ Ra	6,24 · 10 ⁻¹⁹	6,11 · 10 ⁻¹⁸
²¹⁸ Rn	7,38 · 10 ⁻²⁰	7,25 · 10 ⁻¹⁹
²¹⁹ Rn	5,36 · 10 ⁻¹⁸	5,28 · 10 ⁻¹⁷
²²⁰ Rn	3,74 · 10 ⁻²⁰	3,69 · 10 ⁻¹⁹
²²² Rn	3,86 · 10 ⁻²⁰	3,82 · 10 ⁻¹⁹
¹⁰³ Ru	4,53 · 10 ⁻¹⁷	4,49 · 10 ⁻¹⁶
¹⁰⁶ Ru (+ ¹⁰⁶ Rh)	2,19 · 10 ⁻¹⁷	3,45 · 10 ⁻¹⁶
³⁵ S	3,42 · 10 ⁻²¹	1,33 · 10 ⁻²⁰
¹²² Sb	4,34 · 10 ⁻¹⁷	4,85 · 10 ⁻¹⁶
¹²⁴ Sb	1,87 · 10 ⁻¹⁶	1,70 · 10 ⁻¹⁵
¹²⁵ Sb	4,06 · 10 ⁻¹⁷	4,09 · 10 ⁻¹⁶
⁷⁵ Se	3,68 · 10 ⁻¹⁷	3,61 · 10 ⁻¹⁶
⁸⁹ Sr	5,25 · 10 ⁻¹⁹	6,86 · 10 ⁻¹⁷
⁹⁰ Sr (+ ⁹⁰ Y)	9,87 · 10 ⁻¹⁹	1,64 · 10 ⁻¹⁸
⁹⁹ Tc	3,13 · 10 ⁻²⁰	6,47 · 10 ⁻²⁰
^{99m} Tc	1,16 · 10 ⁻¹⁷	1,14 · 10 ⁻¹⁶
^{123m} Te	1,28 · 10 ⁻¹⁷	1,32 · 10 ⁻¹⁶
²²⁷ Th	9,71 · 10 ⁻¹⁸	9,81 · 10 ⁻¹⁷
²²⁸ Th	1,80 · 10 ⁻¹⁹	2,13 · 10 ⁻¹⁸
²²⁹ Th	7,49 · 10 ⁻¹⁸	7,89 · 10 ⁻¹⁷
²³⁰ Th	3,34 · 10 ⁻²⁰	6,37 · 10 ⁻¹⁹
²³¹ Th	1,01 · 10 ⁻¹⁸	1,55 · 10 ⁻¹⁷
²³² Th	1,64 · 10 ⁻²⁰	4,55 · 10 ⁻¹⁹
²³⁴ Th	6,57 · 10 ⁻¹⁹	7,49 · 10 ⁻¹⁸
²⁰¹ Tl	7,32 · 10 ⁻¹⁸	7,96 · 10 ⁻¹⁷
²⁰⁸ Tl	3,65 · 10 ⁻¹⁶	2,97 · 10 ⁻¹⁵

**Часть II. Регулирование сбросов радиоактивных веществ
в водные объекты**

Радионуклид	$F_{r,внеш}, \frac{Зв \cdot м^3}{Бк \cdot с}$	$f_r, \frac{Зв \cdot м^2}{Бк \cdot с}$
²⁰⁹ Tl	$2,09 \cdot 10^{-16}$	$1,92 \cdot 10^{-15}$
²³² U	$2,66 \cdot 10^{-20}$	$8,07 \cdot 10^{-19}$
²³³ U	$3,15 \cdot 10^{-20}$	$5,99 \cdot 10^{-19}$
²³⁴ U	$1,39 \cdot 10^{-20}$	$5,86 \cdot 10^{-19}$
²³⁵ U	$1,43 \cdot 10^{-17}$	$1,40 \cdot 10^{-16}$
²³⁶ U	$8,89 \cdot 10^{-21}$	$5,03 \cdot 10^{-19}$
²³⁷ U	$1,17 \cdot 10^{-17}$	$1,23 \cdot 10^{-16}$
²³⁸ U	$5,85 \cdot 10^{-21}$	$4,23 \cdot 10^{-19}$
⁹⁰ Y	$9,87 \cdot 10^{-19}$	$1,10 \cdot 10^{-16}$
⁶⁵ Zn	$5,90 \cdot 10^{-17}$	$5,41 \cdot 10^{-16}$
⁹⁵ Zr	$7,29 \cdot 10^{-17}$	$7,04 \cdot 10^{-16}$

* Значения коэффициентов приняты в соответствии с Руководством пользователя к информационно-справочной системе по радиологическим параметрам – Бюро исследований в области регулирования безопасности при использовании атомной энергии, 2013 (NUREG/CR-7166 Radiological Toolbox User's Guide.- Office of Nuclear Regulatory Research, 2013).

Таблица № 2

Время, затрачиваемое на виды водопользования (в долях года)

Вид водопользования	τ
Купание	0,011
Рыболовство	0,022
Пребывание на пляже	0,022
Пребывание на заливных землях	0,046
Пребывание на орошаемых территориях	0,046

Таблица № 3

**Коэффициенты межфазного распределения радионуклидов между водой
и донными отложениями $K_{нд}^r$ для пресной воды, м³/кг ***

Элемент	$K_{нд}^r$
Mn	$7,9 \cdot 10^1$
Fe	$5,0 \cdot 10^0$
Co	$4,4 \cdot 10^1$
Zn	$5,0 \cdot 10^{-1}$
Sr	$1,2 \cdot 10^0$
Zr	$1,0 \cdot 10^0$
Tc	$5,0 \cdot 10^{-3}$
Ru	$3,2 \cdot 10^1$
Sb	$5,0 \cdot 10^0$
I	$4,4 \cdot 10^0$
Cs	$2,9 \cdot 10^1$
Ba	$2,0 \cdot 10^0$
Ce	$2,2 \cdot 10^2$
Pm	$5,0 \cdot 10^0$
Eu	$5,0 \cdot 10^{-1}$
Ra	$7,4 \cdot 10^0$

**Методическое пособие по вопросам регулирования выбросов
и сбросов радиоактивных веществ в окружающую среду**

Элемент	$K_{нд}^r$
Th	$1,9 \cdot 10^2$
U	$5,0 \cdot 10^{-2}$
Np	$1,0 \cdot 10^{-2}$
Pu	$2,4 \cdot 10^2$
Am	$1,2 \cdot 10^2$
Cm	$5,0 \cdot 10^0$

* Справочник по параметрам для прогноза миграции радионуклидов в наземных и пресноводных экосистемах. Технический отчет № 472 – Вена: МАГАТЭ, 2010 (Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments/ Technical Reports.- Series № 472.-Vienna: IAEA, 2010).

Таблица № 4

**Коэффициенты межфазного распределения радионуклидов между водой
и донными отложениями $K_{нд}^r$ для морской воды, м³/кг ***

Элемент	$K_{нд}^r$, м ³ /кг
Na	$1,0 \cdot 10^{-4}$
S	$5,0 \cdot 10^{-4}$
Cl	$3,0 \cdot 10^{-5}$
Ca	$5,0 \cdot 10^{-1}$
Cr	$5,0 \cdot 10^1$
Mn	$2,0 \cdot 10^3$
Fe	$3,0 \cdot 10^5$
Co	$3,0 \cdot 10^2$
Ni	$2,0 \cdot 10^1$
Zn	$7,0 \cdot 10^1$
Se	$3,0 \cdot 10^0$
Sr	$8,0 \cdot 10^{-3}$
Y	$9,0 \cdot 10^2$
Zr	$2,0 \cdot 10^3$
Nb	$8,0 \cdot 10^2$
Tc	$1,0 \cdot 10^{-1}$
Ru	$4,0 \cdot 10^1$
Ag	$1,0 \cdot 10^1$
In	$5,0 \cdot 10^1$
Sb	$2,0 \cdot 10^0$
Te	$1,0 \cdot 10^0$
I	$7,0 \cdot 10^{-2}$
Cs	$4,0 \cdot 10^0$
Ba	$2,0 \cdot 10^0$
Ce	$3,0 \cdot 10^3$
Pm	$2,0 \cdot 10^3$
Pr	$5,0 \cdot 10^3$
Eu	$2,0 \cdot 10^3$
Ir	$1,0 \cdot 10^2$
Hg	$4,0 \cdot 10^0$
Tl	$2,0 \cdot 10^1$
Pb	$1,0 \cdot 10^2$

**Часть II. Регулирование сбросов радиоактивных веществ
в водные объекты**

Элемент	$K_{но}^r, м^3/кг$
Po	$2,0 \cdot 10^4$
Ra	$2,0 \cdot 10^0$
Ac	$2,0 \cdot 10^3$
Th	$3,0 \cdot 10^3$
Pa	$5,0 \cdot 10^3$
U	$1,0 \cdot 10^0$
Np	$1,0 \cdot 10^0$
Pu	$1,0 \cdot 10^2$
Am	$2,0 \cdot 10^3$
Cm	$2,0 \cdot 10^3$

* Коэффициенты распределения радионуклидов между водой и донными отложениями и коэффициенты накопления радионуклидов в биоте для морских экосистем. Технический отчет № 422 – Вена: МАГАТЭ, 2004 (Sediment Distribution Coefficients and Concentration Factors for Biota in the Marine Environment/ Technical Reports.- Series № 422.-Vienna: IAEA, 2004).

Таблица № 5

Коэффициенты накопления радионуклидов в пресноводной рыбе, $м^3/кг$ *

Элемент	$K_P, м^3/кг$
Ag	$1,1 \cdot 10^{-1}$
Am	$2,4 \cdot 10^{-1}$
Au	$2,4 \cdot 10^{-1}$
Ba	$1,2 \cdot 10^{-3}$
C	$4,0 \cdot 10^2$
Ca	$1,2 \cdot 10^{-2}$
Ce	$2,5 \cdot 10^{-2}$
Cl	$4,7 \cdot 10^{-2}$
Co	$7,6 \cdot 10^{-2}$
Cr	$4,0 \cdot 10^{-3}$
Cs	$2,5 \cdot 10^0$
Cu	$2,3 \cdot 10^{-1}$
Eu	$1,3 \cdot 10^{-1}$
Fe	$1,7 \cdot 10^{-1}$
Hg	$6,1 \cdot 10^0$
I	$3,0 \cdot 10^{-2}$
K	$3,2 \cdot 10^0$
La	$3,7 \cdot 10^{-2}$
Mg	$3,7 \cdot 10^{-2}$
Mn	$2,4 \cdot 10^{-1}$
Mo	$1,9 \cdot 10^{-3}$
Na	$7,6 \cdot 10^{-2}$
Ni	$2,1 \cdot 10^{-2}$
P	$1,4 \cdot 10^2$
Pb	$2,5 \cdot 10^{-2}$
Po	$3,6 \cdot 10^{-2}$
Pu	$2,1 \cdot 10^1$
Ra	$4,0 \cdot 10^{-3}$

**Методическое пособие по вопросам регулирования выбросов
и сбросов радиоактивных веществ в окружающую среду**

Элемент	$K_p, \text{м}^3/\text{кг}$
Rb	$4,9 \cdot 10^0$
Ru	$5,5 \cdot 10^{-2}$
Sb	$3,7 \cdot 10^{-2}$
Se	$6,0 \cdot 10^0$
Sr	$2,9 \cdot 10^{-3}$
Te	$1,5 \cdot 10^{-1}$
Th	$6,0 \cdot 10^{-3}$
Tl	$9,0 \cdot 10^{-1}$
U	$9,6 \cdot 10^{-4}$
V	$9,7 \cdot 10^{-2}$
Y	$4,0 \cdot 10^{-2}$
Zn	$3,4 \cdot 10^0$
Zr	$2,2 \cdot 10^{-2}$

* Справочник по параметрам для прогноза миграции радионуклидов в наземных и пресноводных экосистемах. Технический отчет № 472 – Вена: МАГАТЭ, 2010 (Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments/ Technical Reports.- Series № 472.-Vienna: IAEA, 2010).

Таблица № 6

Коэффициенты накопления радионуклидов в морской рыбе, $\text{м}^3/\text{кг}$ *

Элемент	K_p
C	$2,0 \cdot 10^1$
Na	$1,0 \cdot 10^{-3}$
S	$1,0 \cdot 10^{-3}$
Cl	$6,0 \cdot 10^{-5}$
Ca	$2,0 \cdot 10^{-3}$
Sc	$1,0 \cdot 10^0$
Cr	$2,0 \cdot 10^{-1}$
Mn	$1,0 \cdot 10^0$
Fe	$3,0 \cdot 10^1$
Co	$7,0 \cdot 10^{-1}$
Ni	$1,0 \cdot 10^0$
Zn	$1,0 \cdot 10^0$
Se	$1,0 \cdot 10^1$
Sr	$3,0 \cdot 10^{-3}$
Y	$2,0 \cdot 10^{-2}$
Zr	$2,0 \cdot 10^{-2}$
Nb	$3,0 \cdot 10^{-2}$
Tc	$8,0 \cdot 10^{-2}$
Ru	$2,0 \cdot 10^{-3}$
Ag	$1,0 \cdot 10^1$
In	$5,0 \cdot 10^{-1}$
Sb	$6,0 \cdot 10^{-1}$
Te	$1,0 \cdot 10^0$
I	$9,0 \cdot 10^{-3}$
Cs	$1,0 \cdot 10^{-1}$
Ba	$1,0 \cdot 10^{-2}$

**Часть II. Регулирование сбросов радиоактивных веществ
в водные объекты**

Элемент	K_p
Ce	$5,0 \cdot 10^{-2}$
Pm	$3,0 \cdot 10^{-1}$
Eu	$3,0 \cdot 10^{-1}$
Ir	$2,0 \cdot 10^{-2}$
Hg	$3,0 \cdot 10^1$
Tl	$5,0 \cdot 10^0$
Pb	$2,0 \cdot 10^{-1}$
Po	$2,0 \cdot 10^0$
Ra	$1,0 \cdot 10^{-1}$
Ac	$5,0 \cdot 10^{-2}$
Th	$6,0 \cdot 10^{-1}$
U	$1,0 \cdot 10^{-3}$
Np	$1,0 \cdot 10^{-3}$
Pu	$1,0 \cdot 10^{-1}$
Am	$1,0 \cdot 10^{-1}$
Cm	$1,0 \cdot 10^{-1}$

* Коэффициенты распределения радионуклидов между водой и донными отложениями и коэффициенты накопления радионуклидов в биоте для морских экосистем. Технический отчет № 422 – Вена: МАГАТЭ, 2004 (Sediment Distribution Coefficients and Concentration Factors for Biota in the Marine Environment/ Technical Reports.- Series № 422.-Vienna: IAEA, 2004).

Таблица № 7

Рекомендуемые значения параметров $F_{v,r}$, $F_{vI,r}$, $F_{milk,r}^m$, $F_{meat,r}^f$ *

Элемент	$F_{v,r}$	$F_{milk,r}^m$, сут/л	$F_{meat,r}^f$, сут/кг	$F_{vI,r}$
Ag	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$6,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$
Am	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$
As	$8,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-1}$
Au	$1,0 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-1}$
Ba	$5,0 \cdot 10^{-2}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$
Ce	$5,0 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$
Cm	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$
Co	$8,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$7,0 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^0$
Cr	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$9,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$
Cs	$3,0 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$	$3,0 \cdot 10^{-1}$	$2,0 \cdot 10^1$
Cu	$5,0 \cdot 10^{-1}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^0$
Eu	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$6,0 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$
Fe	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$
Ga	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$
Hg	$3,0 \cdot 10^{-1}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^0$
I	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$5,0 \cdot 10^{-1}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$
In	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$
Mn	$3,0 \cdot 10^{-1}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$7,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^1$
Mo	$2,0 \cdot 10^{-1}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^0$
Na	$5,0 \cdot 10^{-2}$	$2,5 \cdot 10^{-1}$	$8,0 \cdot 10^{-1}$	$6,0 \cdot 10^{-1}$
Nb	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$4,0 \cdot 10^{-6}$	$3,0 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-1}$
Ni	$3,0 \cdot 10^{-1}$	$2,0 \cdot 10^{-1}$	$5,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^0$
Np	$4,0 \cdot 10^{-2}$	$5,0 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$5,0 \cdot 10^{-1}$
P	$1,0 \cdot 10^0$	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$5,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^1$

**Методическое пособие по вопросам регулирования выбросов
и сбросов радиоактивных веществ в окружающую среду**

Элемент	Fv_r	$F^m_{milk,r}$, сут/л	$F^f_{meat,r}$, сут/кг	FvI_r
Pb	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$7,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$
Pm	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$6,0 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$
Po	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$
Pu	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$
Ra	$4,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-1}$
Rh	$2,0 \cdot 10^{-1}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^0$
Ru	$5,0 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$	$5,0 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-1}$
S	$6,0 \cdot 10^{-1}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-1}$	$6,0 \cdot 10^0$
Sb	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$
Se	$1,0 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^0$
Sr	$3,0 \cdot 10^{-1}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^1$
Tc	$5,0 \cdot 10^0$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$8,0 \cdot 10^1$
Te	$1,0 \cdot 10^0$	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$7,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^1$
Th	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$
Tl	$2,0 \cdot 10^0$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^0$
U	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-1}$
Y	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$6,0 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$
Zn	$2,0 \cdot 10^0$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-1}$	$2,0 \cdot 10^0$
Zr	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$6,0 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$

* Консервативные модели для использования при оценках воздействия радиоактивных выбросов и сбросов на окружающую среду. Отчет по безопасности № 19 – Вена: МАГАТЭ, 2000 (Generic Models for use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment/ Safety Reports.- Series № 19.-Vienna: IAEA, 2000).

Таблица № 8

**Рекомендуемые значения суточных энергетических затрат для лиц
из различных возрастных групп, ккал/сут**

Возрастная группа (г)	2	3	4	5	6
Энергетические затраты, ккал/сут	1400	2000	2600	3100	2900

ПРИЛОЖЕНИЕ № 3

к руководству по безопасности
при использовании атомной энергии
«Рекомендуемые методы расчета параметров,
необходимых для разработки нормативов
допустимых сбросов радиоактивных веществ в
водные объекты», утвержденному приказом
Федеральной службы по экологическому,
технологическому и атомному надзору
от 25 июля 2017 г. № 281

**Рекомендации по установлению контрольных уровней сбросов
радиоактивных веществ в водные объекты**

1. Годовой контрольный уровень сброса r -го радионуклида в воду водного объекта, Бк/год, рекомендуется определять по следующему соотношению:

$$КУ_{год}^r = \frac{ДС_r}{X}, \quad (1)$$

где $ДС_r$ – допустимый сброс r -го радионуклида в воду водного объекта, Бк/год;

X – безразмерная величина, которую рекомендуется принимать большей или равной 2.

2. Месячный (Бк/мес) и суточный (Бк/сут) контрольные уровни сброса r -го радионуклида в воду водного объекта рекомендуется определять по следующим соотношениям:

$$КУ_{мес}^r = \frac{КУ_{год}^r}{12}, \quad (2)$$

$$КУ_{сут}^r = \frac{КУ_{год}^r}{365}, \quad (3)$$

где $КУ_{год}^r$ – годовой контрольный уровень сброса r -го радионуклида, Бк/год.

3. В случае если r -й радионуклид, содержание которого в сточных водах не превышает нижний порог обнаружения используемых методик выполнения измерений, подлежит нормированию в соответствии с рекомендациями раздела III настоящего Руководства по безопасности, проверку не превышения контрольных уровней рекомендуется выполнять с помощью следующих соотношений:

$$0,5 \cdot НПО_r \cdot V^{год} \leq КУ_{год}^r, \quad (4)$$

$$0,5 \cdot НПО_r \cdot V^{мес} \leq КУ_{мес}^r, \quad (5)$$

$$0,5 \cdot НПО_r \cdot V^{сут} \leq КУ_{сут}^r, \quad (6)$$

где $НПО_r$ – нижний порог обнаружения для r -го радионуклида, Бк/м³;

$V^{год}$ – годовой объем сброса, м³/год;

$V^{мес}$ – месячный объем сброса, м³/мес;

$V^{сут}$ – суточный объем сброса, м³/сут;

$КУ_{год}^r$ – годовой контрольный уровень сброса r -го радионуклида, Бк/год, рассчитанный по формуле (1) настоящего приложения к Руководству по безопасности;

$КУ_{мес}^r$ – месячный контрольный уровень сброса r -го радионуклида, Бк/мес, рассчитанный по формуле (2) настоящего приложения к Руководству по безопасности;

$КУ_{сут}^r$ – суточный контрольный уровень сброса r -го радионуклида, Бк/сут, рассчитанный по формуле (3) настоящего приложения к Руководству по безопасности.

**Методическое пособие по вопросам регулирования выбросов и сбросов
радиоактивных веществ в окружающую среду**

Часть II

Регулирование сбросов радиоактивных веществ в водные объекты

Официальное издание

Ответственный за выпуск Сеницына Т.В.

Верстка выполнена в ФБУ «НТЦ ЯРБ»

Подписано в печать 26.10.2017




ФБУ «Научно-технический центр по ядерной
и радиационной безопасности» (ФБУ «НТЦ ЯРБ») является
официальным издателем и распространителем нормативных актов
Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору
(Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому
и атомному надзору от 20.04.06 № 384),
а также официальным распространителем документов МАГАТЭ
на территории России.

Тираж 100 экз.

Отпечатано в ФБУ «НТЦ ЯРБ»

Москва, ул. Малая Красносельская, д. 2/8, корп. 5

Товарный знак ФБУ «НТЦ ЯРБ» зарегистрирован
в Государственном реестре товарных знаков и знаков обслуживания Российской Федерации 19.06.2017

	 <p>Система менеджмента ISO 9001:2008</p>  <p>www.tuv.com ID 9105068067</p> <p>Данный продукт изготовлен компанией, система менеджмента качества которой сертифицирована в TUV Rheinland</p>	<p>Система менеджмента качества ФБУ «НТЦ ЯРБ» сертифицирована на соответствие требованиям международного стандарта ISO 9001:2008 и межгосударственного стандарта ГОСТ ISO 9001-2011</p>
---	--	---

ISBN 978-5-907011-00-7

