**МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
(Росгидромет)**

РЕКОМЕНДАЦИИ

Р

52.18.929—

2023

**ПОРЯДОК ОЦЕНКИ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
МОРСКОЙ СРЕДЫ ПРИ РАДИАЦИОННОЙ АВАРИИ**

Обнинск

2024

Предисловие

1 РАЗРАБОТАНЫ Федеральным государственным бюджетным учреждением «Научно-производственное объединение «Тайфун» (ФГБУ «НПО «Тайфун»)

2 РАЗРАБОТЧИКИ Т.Г. Сазыкина, д-р физ.-мат. наук, А.И. Крышев, д-р биол. наук, И.И. Крышев, д-р физ.-мат. наук, И.В. Косых, А.А. Бурякова, Н.Н. Павлова, канд. биол. наук, И.Я. Газиев

3 СОГЛАСОВАНЫ с Управлением мониторинга загрязнения окружающей среды, полярных и морских работ (УМЗА) Росгидромета 27.11.2023

4 УТВЕРЖДЕНЫ и ВВЕДЕНЫ В ДЕЙСТВИЕ приказом Росгидромета от 27.11.2023 № 571

5 ЗАРЕГИСТРИРОВАНЫ головной организацией по стандартизации Росгидромета ФГБУ «НПО «Тайфун» 24.11.2023

ОБОЗНАЧЕНИЕ РЕКОМЕНДАЦИЙ Р 52.18.929–2023

6 ВВЕДЕНЫ ВПЕРВЫЕ

7 СРОК ПРОВЕРКИ 2028 год

Содержание

1 Область применения	1
2 Нормативные ссылки	2
3 Термины и определения	2
4 Общие положения	6
5 Распространение пятна радиоактивного загрязнения в морской среде после радиационной аварии	7
5.1 Определение размера пятна радиоактивного загрязнения	7
5.2 Оценка распространения пятна радиоактивного загрязнения	8
5.3 Оценка снижения активности радионуклидов в пятне радиоактивного загрязнения	11
5.4 Условия рассеивания пятна радиоактивного загрязнения	12
6 Оценка радиационного воздействия на биоту	13
6.1 Представительные объекты морской биоты и пути их радиационного загрязнения	13
6.2 Сорбция радионуклидов на поверхностях морских организмов	13
6.3 Радиоактивное загрязнение морских организмов за счет биоаккумуляции	16
6.4 Оценка мощности дозы облучения организмов морской биоты	19
7 Порядок оценки радиационной безопасности морской среды после аварии.....	20
7.1 Оценка дозы острого облучения морской биоты при радиационной аварии.....	20
7.2 Критерии оценки границ зон радиационного поражения морской биоты при остром аварийном облучении	22
7.3 Критерии оценки радиационной безопасности при хроническом облучении морской биоты	24
7.4 Порядок расчета обобщенного показателя риска для морской биоты после радиационной аварии	24
Приложение А (рекомендуемое) Значения коэффициентов распределения радионуклидов в компонентах морских водных объектов между водой и	

Р 52.18.929–2023

организмами биоты, между водой и донными отложениями.....	26
Приложение Б (рекомендуемое) Параметры для оценки мощностей дозы облучения объектов морской биоты ..	29
Библиография.....	34

Введение

В соответствии с Указом Президента Российской Федерации «Об утверждении Основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу» обеспечение защиты от радиационного воздействия окружающей среды, совершенствование механизмов оценки радиационного воздействия на природные объекты, анализ и прогнозирование радиационной обстановки на территории Российской Федерации являются основными направлениями реализации государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности [1, пункты 12,13, глава III].

Настоящие рекомендации содержат основные положения, принципы и методы оценки радиационной безопасности морской среды при радиационной аварии, сопровождающейся поступлением радиоактивных веществ в морскую среду.

В рекомендациях даны методы расчета аварийно загрязненных зон морских акваторий, оценки динамики и уровней накопления биологически активных радионуклидов в различных видах морских организмов.

Настоящие рекомендации разработаны в соответствии с Федеральным законом «Об охране окружающей среды» [2], Указом Президента Российской Федерации [1], санитарными [3] и санитарно-эпидемиологическими правилами [4], постановлением Правительства Российской Федерации [5] и другими нормативными правовыми документами в области радиационной безопасности и охраны окружающей среды. Учтены требования международных основных норм безопасности [6] о необходимости подтверждения защиты окружающей среды от воздействия радиоактивного загрязнения.

РЕКОМЕНДАЦИИ**ПОРЯДОК ОЦЕНКИ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МОРСКОЙ
СРЕДЫ ПРИ РАДИАЦИОННОЙ АВАРИИ**

Дата введения – 2024–06–20
Срок действия до – 2029–06–20

1 Область применения

1.1 Настоящие рекомендации предлагают порядок оценки радиационной безопасности морской биоты при радиационной аварии, сопровождающейся поступлением радиоактивных веществ в морскую среду.

1.2 Настоящие рекомендации применяются для:

- оценки состояния и изменений радиационной обстановки после аварийного поступления радиоактивных веществ в морскую среду;
- анализа и интерпретации информации о радиоактивности воды и других компонентов морской среды после радиационной аварии по данным мониторинга радиационной обстановки с учетом требований в области охраны окружающей среды (природоохранных требований);
- оценки необходимости проведения мероприятий по защите морской биоты при радиационной аварии, сопровождающейся поступлением радиоактивных веществ в морскую среду.

1.3 Настоящие рекомендации не распространяются на:

- оценку радиационного воздействия в целях охраны редких и находящихся под угрозой исчезновения видов наземных организмов;
- гарантийные, страховые, правовые и финансовые аспекты анализа радиационного воздействия на население и объекты биоты.

Р 52.18.929–2023

1.4 Настоящие рекомендации предназначены для управлений по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и их филиалов, для научно-исследовательских учреждений Росгидромета, других подведомственных Росгидромету организаций, а также других физических и юридических лиц, выполняющих работы в области мониторинга радиационной обстановки и охраны окружающей среды.

2 Нормативные ссылки

В настоящих рекомендациях использованы нормативные ссылки на следующие рекомендации:

Р 52.18.873–2018 Порядок расчета контрольных уровней содержания радионуклидов в донных отложениях морских водных объектов

Р 52.18.923–2022 Порядок оценки риска от радиоактивного загрязнения окружающей среды по данным мониторинга радиационной обстановки

П р и м е ч а н и е - При пользовании настоящими рекомендациями целесообразно проверять действие ссылочных документов по РД 52.18.5–2012 «Перечень нормативных документов» и ежегодно издаваемому информационному указателю нормативных документов, опубликованному по состоянию на 1 января текущего года.

3 Термины и определения

В настоящих рекомендациях применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 активность А, Бк: Мера радиоактивности какого-либо количества радионуклида, находящегося в данном энергетическом состоянии в данный момент времени.

П р и м е ч а н и е - Используемая ранее внесистемная единица активности радионуклида кюри, Ки, составляет $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк.

3.2 активность объёмная A_v , Бк/м³ (Бк/л): Отношение активности радионуклида в веществе к объёму вещества.

3.3 активность удельная A_c , Бк/кг: Отношение активности радионуклида в веществе к массе вещества.

3.4 авария радиационная: Нарушение правил безопасной эксплуатации ядерно-энергетической установки, оборудования или устройства, при котором произошел выход радиоактивных продуктов или ионизирующего излучения за предусмотренные проектом пределы их безопасной эксплуатации, приводящей к облучению населения и загрязнению окружающей среды.

3.5 биота: Совокупность живых организмов в среде их обитания.

3.6 благоприятная окружающая среда: Окружающая среда, качество которой обеспечивает устойчивое функционирование естественных экологических систем, природных и природно-антропогенных объектов [2].

3.7 вещество радиоактивное: Вещество в любом агрегатном состоянии, содержащее радионуклиды с активностью, на которые распространяются требования норм радиационной безопасности.

3.8 внешнее облучение: Облучение организма от находящихся вне его источников ионизирующего излучения.

3.9 внутреннее облучение: Облучение организма от находящихся внутри него источников ионизирующего облучения.

3.10 доза поглощенная D : Отношение средней энергии, переданной ионизирующим излучением веществу в элементарном объеме, к массе вещества в этом объеме.

3.11 донные отложения: Донные наносы и твердые частицы, образовавшиеся и осевшие на дно водного объекта.

3.12 контрольный уровень содержания радионуклидов в компоненте природной среды: Критерий оценки радиационной обстановки для оперативного мониторинга, анализа и интерпретации

Р 52.18.929–2023

информации о радиоактивности компонента природной среды в целях выявления ее изменений под воздействием природных и антропогенных факторов, обеспечения экологической безопасности и сохранения благоприятной окружающей среды.

3.13 коэффициент накопления радионуклида в представительном объекте морской биоты: Отношение удельной активности тканей морских организмов данного вида (типа) к объемной активности нефильтованной морской воды.

3.14 коэффициент распределения радионуклида между морской водой и донными отложениями: Отношение удельной активности донных отложений к удельной активности морской воды в равновесном состоянии.

3.15 мощность поглощенной дозы $\dot{D}_k(t)$: Доза ионизирующего излучения в единицу времени.

3.16 облучение: Воздействие на организмы ионизирующего излучения.

3.17 облучение острое: Кратковременное облучение организмов высокими дозами облучения, способным привести к летальным эффектам.

3.18 облучение хроническое: Облучение организмов в течение длительного времени в условиях повышенного радиационного воздействия, не приводящего к летальным эффектам.

3.19 окружающая среда: Совокупность компонентов природной среды, природных и природно-антропогенных объектов, а также антропогенных объектов [2].

3.20 предельно допустимая радиационная нагрузка R_{max} , мГр/сут: Максимально допустимая мощность дозы, не приводящая к появлению радиационного воздействия на заболеваемость, размножение и продолжительность жизни объектов биоты.

3.21 природная среда: Совокупность компонентов природной среды, природных и природно-антропогенных объектов [2].

3.22 природный объект: Естественная экологическая система, природный ландшафт и составляющие их элементы, сохранившие свои природные свойства [2].

3.23 пятно радиоактивного загрязнения: Участок акватории/территории с повышенными уровнями загрязнения, приводящими к дозам облучения выше предельно допустимой радиационной нагрузки.

3.24 радиационная обстановка: Совокупность радиационных факторов в пространстве и во времени, способных воздействовать на функционирование (использование) радиационного объекта, вызвать облучение персонала, населения и радиоактивное загрязнение окружающей среды.

3.25 радиационно-экологическое воздействие: Воздействие факторов ионизирующего излучения на организмы.

3.26 радиационный объект: Физический объект (сооружение, здание, огороженный комплекс зданий), где осуществляется обращение с техногенными источниками ионизирующего излучения.

3.27 экологическая безопасность: Состояние защищенности природной среды и жизненно важных интересов человека от возможного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, их последствий [2].

3.28 экосистема: Сообщество живых организмов вместе со средой их обитания.

4 Общие положения

Настоящие рекомендации содержат порядок расчета зон аварийного распространения радиоактивных веществ в морской среде после инцидента на радиационно опасном объекте, расчет загрязнения и доз облучения морских организмов, оценки риска гибели или повреждения морской биоты. Основными результатами расчетов являются: определение зон достижения пороговых и летальных доз облучения отдельных групп морских организмов в пятне радиоактивного загрязнения, расчет динамики накопления отдельных радионуклидов на поверхности и в тканях морских организмов, оценка риска для морской экосистемы.

При радиационной аварии, сопровождающейся поступлением радиоактивных веществ в морскую среду, отсутствует равновесное распределение между удельными активностями радионуклидов в морской воде, донных отложениях и биоте.

При аварийном загрязнении при отсутствии равновесного распределения радионуклидов между компонентами морской экосистемы для оценки радиационной безопасности морской биоты нельзя использовать контрольные уровни содержания радионуклидов в морской воде и донных отложениях, указанные в Р 52.18.873 и [7].

Для расчета загрязнения морской биоты в этом случае используется метод динамического моделирования. Динамика удельной активности радионуклидов в абиотических компонентах морской среды (морской воде, донных отложениях), задаваемая в качестве исходных данных, рассчитывается с помощью гидродинамической модели, также могут быть использованы данные измерений.

При расчете доз облучения морской биоты учитывается внутреннее облучение от радионуклидов, накопленных в организме, внешнее облучение от воды и донных отложений.

Для оценки радиационной безопасности морской среды после радиационной аварии используются:

- дозовые критерии, характеризующие гибель биологических организмов при остром облучении;
- дозовые критерии, характеризующие радиационную безопасность биоты при хроническом облучении;
- обобщенный показатель риска для морской биоты от радиоактивного загрязнения окружающей среды.

В качестве исходных данных для оценки экологической ситуации в случае морской радиационной аварии используется следующая информация:

- характеристика поступления радионуклидов в морскую среду при аварии, перечень радионуклидов, оцененные количества (активности) по каждому радионуклиду;
- глубина моря, направление и скорость течения в месте аварии;
- типичные виды морской биоты в зоне аварии.

5 Распространение пятна радиоактивного загрязнения в морской среде после радиационной аварии

5.1 Определение размера пятна радиоактивного загрязнения

При аварийном поступлении радионуклидов (в результате атмосферных выпадений, сбросов радионуклидов, при разрушении радиационно опасного объекта, затоплении разрушенного радиационно опасного объекта) образуется пятно радиоактивного загрязнения.

В случаях, когда авария сопровождается взрывом или пожаром, размеры зоны радиоактивного загрязнения рассчитываются по методикам, моделирующим эти события [8].

Р 52.18.929–2023

В случае поступления в морскую среду загрязненных атмосферных выпадений после взрыва или пожара на радиационно опасном объекте начальный размер и положение пятна загрязнения определяется зоной атмосферных выпадений.

При аварийном (залповом) поступлении радионуклидов в море из берегового источника характерный начальный размер пятна радиоактивного загрязнения определяется размером источника сбросов, например, шириной сбросного канала или шириной реки.

При радиационной аварии в море вблизи объекта появляется пятно радиоактивно загрязненной морской воды, в начальном объеме которого возникают наибольшие локальные концентрации радионуклидов. На расстоянии, равном длине объекта, площадь пятна соизмерима с удвоенной площадью поперечного сечения аварийного объекта и составляет не менее 100 м^2 [9]. Объем воды в пятне с повышенными начальными концентрациями радионуклидов не превышает нескольких объемов аварийного объекта, например, для крупного объекта, как атомный ледокол, начальный объем загрязненной воды не превышает 50000 м^3 , для подводной лодки – менее 10000 м^3 . Скорость обтекания неподвижного объекта морской водой предполагается в диапазоне $0,1–1 \text{ м/с}$; начальный водообмен пятна с окружающей морской средой предполагается равным $10^3/\text{с}$ [10].

5.2 Оценка распространения пятна радиоактивного загрязнения

Для описания загрязнения морской воды после радиационной аварии может быть использована двумерная модель диффузии радионуклидов от мгновенного источника [11]–[14]. При залповом аварийном поступлении i -го радионуклида в морскую среду распространение пятна радиоактивного загрязнения в морской среде

описывается уравнением динамики усредненной по глубине концентрации радиоактивной примеси в морской воде $A_i(x,y,t)$, Бк/м³

$$A_i(x,y,t) = \frac{M_i(t)}{H} G(x,y,t), \quad (5.1)$$

где $M_i(t)$ – суммарная активность i -го радионуклида из аварийного сброса, оставшаяся в морской среде к моменту t , Бк;

H – локальная глубина моря, м;

$G(x,y,t)$ – динамическая функция рассеяния в морской среде единичного разового источника, 1/м²;

x, y – расстояния по координатным осям с центром в центре первоначального пятна загрязнения, м;

t – время с начала загрязнения (время начала аварии принимается за $t=0$), с.

Аварийный сброс i -го радионуклида может произойти в растворенной форме, а также в виде фракций взвесей разной крупности с разной скоростью оседания на дно. Суммарная начальная активность i -го радионуклида $M_i(0)$ при сбросе в виде нескольких фракций «раствор и взвеси» равна сумме активностей в каждой n -й фракции $M_{i,n}(0)$

$$M_i(0) = \sum_n M_{i,n}(0). \quad (5.2)$$

При наличии в аварийном сбросе нескольких радионуклидов, каждый радионуклид рассматривается отдельно с учетом его распределения по фракциям взвеси и скорости радиоактивного распада.

Если скорости течения u_x и u_y постоянные, то $G(x,y,t)$ имеет вид гауссовой функции

$$G(x,y,t) = \frac{1}{2\pi \cdot \sigma_x \cdot \sigma_y} \cdot \exp\left(-\frac{(x-u_x \cdot t)^2}{2 \cdot \sigma_x^2} - \frac{(y-u_y \cdot t)^2}{2 \cdot \sigma_y^2}\right), \quad (5.3)$$

где σ_x^2, σ_y^2 – дисперсии распределения радионуклидов, м²;

Р 52.18.929–2023

u_x, u_y – скорости потока по осям x и y , м/с;

t – время, с, измеряется с момента сброса радионуклидов в морскую среду.

Характерный размер пятна $l(t)$ составляет [15]

$$l(t) = 2 \cdot \sigma(t), \quad (5.4)$$

где $\sigma(t)$ определяет характерную полуширину пятна радиоактивного загрязнения, м.

Начальный размер пятна оценивается равным поперечным размерам аварийного объекта; в случае взрыва – размеру зоны взрыва.

Коэффициент диффузии $K(t)$ в турбулентном потоке существенно зависит от масштаба явления $l(t)$ и описывается законом «степени 4/3» (закон Ричардсона)

$$K(t) = 0,5 \cdot \frac{d\sigma^2(t)}{dt} = B \cdot (l(t))^{4/3} = B \cdot (2 \cdot \sigma(t))^{4/3}, \quad (5.5)$$

где B – эмпирическая постоянная.

Периферийные зоны пятна примеси, наиболее удаленные друг от друга, растаскиваются турбулентными вихрями значительно быстрее центральных частей пятна [16].

Из закона Ричардсона следует, что для $\sigma(t)$ характерна нелинейная зависимость дисперсии от времени

$$\sigma^2(t) = p \cdot t^3 + \sigma_0^2, \quad (5.6)$$

где $p=8 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}^3$ используется для промежуточных пространственных масштабов в диапазоне $10-10^3 \text{ м}$, $p=2 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}^3$ для области больших масштабов порядка 10^4-10^6 м ;

t – время, измеряется с момента сброса радионуклидов в морскую среду, с;

σ_0 – полуширина начального поперечного размера пятна аварийного загрязнения, м.

5.3 Оценка снижения активности радионуклидов в пятне радиоактивного загрязнения

После залпового аварийного поступления радионуклидов в морскую среду, величина суммарной радиоактивности в пятне постепенно снижается с течением времени за счет радиоактивного распада отдельных изотопов, а также оседания более крупных фракций радиоактивных частиц на морское дно. Скорость оседания характеризуется гидравлической крупностью частиц V_{sed} , м/с, определяемой как скорость падения частиц в стоячей воде.

Суммарная активность i -го радионуклида определяется формулой

$$M_i(t) = \sum_n M_{i,n}(0) \cdot \exp\left(-\frac{V_{sed} \cdot t}{H}\right) \cdot \exp(-\lambda_i \cdot t), \quad (5.7)$$

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

Для частиц, оседающих в спокойной воде, применима формула Стокса

$$V_{sed} = \frac{g \cdot d^2}{18 \cdot \mu} \cdot \left(\frac{\rho_{взв}}{\rho_{вод}} - 1 \right), \quad (5.8)$$

где g – ускорение свободного падения $g=9,8$ м/с²;

d – диаметр частиц, м;

μ – кинематическая вязкость морской воды, равна $1,789 \cdot 10^{-6}$ м²/с;

$\rho_{взв}$ – плотность оседающих частиц взвеси диаметра d , для грунта равно $2,6$ г/см³;

$\rho_{вод}$ – плотность морской воды, $1,02$ – $1,03$ г/см³.

Для более крупных частиц скорость оседания увеличивается, режим оседания переходит в турбулентный, гидравлическая крупность перестает зависеть от вязкости жидкости и может быть выражена формулой

$$V_{sed} = \sqrt{\frac{4 \cdot g \cdot d}{3 \cdot C} \cdot \frac{\rho_{взв}}{\rho_{вод}}}, \quad (5.9)$$

где C – коэффициент сопротивления, безразмерный, для шарообразной частицы $C \approx 0,45$.

При уменьшении размера частиц взвеси от 1 мм до 10^{-3} мм скорость осаждения Стокса в морской воде убывает от 5–10 до 10^{-3} см/с. Мелкие частицы радиоактивного загрязнения, сравнимые по размерам с частицами естественной взвеси в морской воде, оседают со скоростями, соответствующими естественному осадконакоплению. Радионуклиды могут сорбироваться на естественной взвеси и оседать вместе с взвесью в донные отложения. Оседание радиоактивных взвешенных частиц на дно способствует снижению запаса радиоактивности в пятне загрязнения. Запас радиоактивности в пятне также экспоненциально снижается со временем вследствие радиоактивного распада фракций короткоживущих радионуклидов. Вследствие выпадения радиоактивных частиц на морское дно, на дне формируется распределенный по дну источник излучения, размеры которого определяются скоростью и количеством выпадающих радиоактивных частиц.

5.4 Условия рассеивания пятна радиоактивного загрязнения

Пятно аварийного загрязнения в морской воде считается полностью рассеявшимся с экологической точки зрения, когда значения усредненной концентрации радионуклидов в воде на оси пятна радиоактивного загрязнения станут ниже допустимых величин, создающих дозы хронического облучения менее 1 мГр/сут для позвоночных морских организмов и менее 10 мГр/сут – для беспозвоночных. Также следует учитывать существующие радиационно-гигиенические нормативы загрязнения промысловых видов рыб и

окружающей среды [3], [4] и др. Пятно радиоактивного загрязнения на морском дне может сохраняться длительное время.

6 Оценка радиационного воздействия на биоту

6.1 Представительные объекты морской биоты и пути их радиационного загрязнения

В связи с большим биологическим разнообразием морских экосистем для оценки радиационного воздействия должны быть определены представительные объекты морской биоты.

Рекомендуется выбирать в качестве представительных объектов типичные организмы из следующих групп морской биоты (при их наличии в исследуемой экосистеме):

- морские ракообразные;
- морская рыба;
- морские моллюски;
- морские растения;
- морские млекопитающие.

Накопление радионуклидов водными организмами из морской воды происходит двумя основными путями:

- активная биологическая аккумуляция и встраивание радионуклидов в органы и ткани гидробионтов;
- сорбция на поверхности гидробионтов и их органах.

6.2 Сорбция радионуклидов на поверхностях морских организмов

6.2.1 Поверхностное загрязнение морской биоты радионуклидами происходит за счет сорбции на поверхностях организмов, в том числе на покровных тканях, чешуе, жабрах.

Р 52.18.929–2023

Радиоактивные изотопы малорастворимых и тяжелых элементов, таких как цирконий, ниобий, церий, рутений, америций, плутоний в морской среде образуют взвеси и коллоиды и практически полностью сорбируются на взвеси, различных поверхностях (в том числе на поверхностях организмов биоты), а также выпадают в осадки [17]. Сорбция малорастворимых радионуклидов на поверхностях морских организмов происходит достаточно быстро, равновесие устанавливается в пределах нескольких дней.

Типичные значения коэффициентов распределения радионуклидов в компонентах морских водных объектов между водой и организмами биоты, между водой и донными отложениями приведены в таблице А.1.

6.2.2 Удельная активность i -го радионуклида в k -ом представительном морском организме в момент времени t после аварийного поступления в морскую среду $A_{c,i,k}(t)$, Бк/кг, при условии, что основным путем накопления i -го радионуклида в k -ом организме является сорбция, рассчитывается по формуле

$$A_{c,i,k}(t) = CF_{i,k} \cdot A_{w,i}(t), \quad (6.1)$$

где $CF_{i,k}$ – равновесный коэффициент накопления i -го радионуклида в k -ом организме, м³/кг;

$A_{w,i}(t)$ – динамика объемной активности i -го радионуклида в воде после аварийного загрязнения, Бк/м³.

Значения $CF_{i,k}$ приведены в таблице А.1. Значения $A_{w,i}(t)$ определяются по данным мониторинга содержания i -го радионуклида в морской воде после аварии и/или с использованием результатов реконструкции или модельного прогноза динамики загрязнения морской воды после радиационной аварии.

6.2.3 При отсутствии данных о коэффициентах накопления отдельных сорбирующихся радионуклидов, уровни поверхностного загрязнения можно приближенно оценить с использованием известных

значений коэффициентов распределения i -го радионуклида $K_{d,i}$ между морской взвесью и морской водой, принимая, что сорбция на единицу поверхности взвеси и организма является одинаковой. Активность сорбированного радионуклида i на единицу поверхности взвеси и соответственно, на единицу площади организма биоты $A_{\text{взв},i}^{\text{плоч}}$, Бк/м², составляет

$$A_{\text{взв},i}^{\text{плоч}} = K_{d,i} \cdot A_{w,i}(t) \cdot \rho_{\text{взв}} \cdot \left(\frac{V_{\text{взв}}}{S_{\text{взв}}} \right), \quad (6.2)$$

где $K_{d,i}$ – коэффициент распределения i -го радионуклида между морской взвесью и морской водой, м³/кг;

$A_{w,i}(t)$ – удельная активность радионуклида в морской воде, Бк/м³;

$\rho_{\text{взв}}$ – плотность взвеси, кг/м³;

$V_{\text{взв}}$ – объем 1 кг взвеси, м³;

$S_{\text{взв}}$ – площадь 1 кг взвеси, м².

Активность сорбированного радионуклида i на единицу массы организма биоты $A_{\text{сорб},i}$, Бк/м³, равна

$$A_{\text{сорб},i} = K_{d,i} \cdot A_{w,i}(t) \cdot \frac{\rho_{\text{взв}}}{\rho_{\text{био}}} \cdot \left[\left(\frac{V_{\text{взв}}}{S_{\text{взв}}} \right) / \left(\frac{V_{\text{орг}}}{S_{\text{орг}}} \right) \right], \quad (6.3)$$

где $\rho_{\text{био}}$ – плотность тканей организма, кг/м³;

$V_{\text{орг}}$ – объем организма, м³;

$S_{\text{орг}}$ – площадь поверхности организма, м².

При расчетах взвесь и организмы биоты аппроксимируются простыми геометрическими фигурами – взвесь аппроксимируется сферами, организмы в зависимости от вида – сферами, цилиндрами, пластинами или эллипсоидами. В качестве оценки величины $K_{d,i}$ рекомендуется использовать соответствующие значения из таблицы А1.

6.3 Радиоактивное загрязнение морских организмов за счет биоаккумуляции

6.3.1 Живые организмы активно поглощают из морской среды радионуклиды, являющиеся аналогами биологически важных химических элементов и соединений, необходимых для построения органического вещества и обеспечения жизнедеятельности. К таким радионуклидам относятся: тритий, ^{14}C , ^{32}P , изотопы стронция, йода, цезия, марганца, кобальта, цинка и др. Коэффициенты накопления биологически активных радионуклидов относительно морской воды могут быть очень высокими. Динамика их накопления определяется активной биологической аккумуляцией и встраиванием радионуклидов в биологические ткани организмов. Процессы биоаккумуляции радионуклидов в тканях организмов зависят от скорости биологического метаболизма и, следовательно, от размера организма.

6.3.2 Для малых водных организмов с большой удельной поверхностью биоассимиляция происходит интенсивно и равновесие с окружающей морской средой устанавливается в течение нескольких дней; для оценки уровней загрязнения мелких организмов (планктон, мальки рыб, мелкие донные беспозвоночные) рекомендуется применять формулу (6.1) с равновесным коэффициентом накопления биологически активного радионуклида.

6.3.3 Для взрослых рыб и морских млекопитающих процесс накопления радионуклидов в тканях является длительным, в первый период после аварии равновесие отсутствует. Динамика накопления радионуклида в рыбе или морских млекопитающих рассчитывается по динамическим моделям.

6.3.4 Удельная активность i -го радионуклида в рыбе в момент времени t после его аварийного поступления в морскую среду $A_{f,i}$, Бк/кг, при условии, что основным путем накопления является активная биологическая аккумуляция, рассчитывается с помощью уравнения [18]

$$\frac{dA_{f,i}}{dt} = -(\lambda_i + \varepsilon_{f,i} + \mu) \cdot A_{f,i}(t) + (\varepsilon_{f,i} + \mu) \cdot CF_{f,i} \cdot A_{w,i}(t), \quad (6.4)$$

где λ_i – постоянная радиоактивного распада, сут⁻¹;

$\varepsilon_{f,i}$ – параметр, характеризующий удельные метаболические потери i -го радионуклида в рыбе, сут⁻¹;

μ – удельная скорость роста массы рыбы, рекомендуется принять равной 0,0011 сут⁻¹;

$CF_{f,i}$ – равновесный коэффициент накопления i -го радионуклида в рыбе, м³/кг;

$A_{w,i}$ – удельная активность i -го радионуклида в морской воде, Бк/кг.

Потери радионуклида $\varepsilon_{f,i}$ за счет метаболических потерь биомассы зависят от массы организма и определяются аллометрической формулой [18], [19]

$$\varepsilon_{f,i} = \varepsilon_i \cdot \frac{W}{M} = \varepsilon_i \cdot 0,1152 \cdot \alpha_1 \cdot M^{0,2}, \quad (6.5)$$

где ε_i – параметр, характеризующий связь между метаболизмом i -го радионуклида в рыбе и общим метаболизмом. Для радионуклидов, накапливающихся в мышечной ткани, таких как ¹³⁷Cs, $\varepsilon_i = 0,3$. Для радионуклидов, задерживающихся в костях, таких как ⁹⁰Sr, рекомендованное значение $\varepsilon_i = 0,04$. Изотопы тяжелых элементов, таких как плутоний, практически не выводятся из организма;

W – метаболические потери биомассы, г/сут;

M – масса рыбы, г.

Эмпирическая величина α_1 для рыб составляет 0,35–0,40 при комнатной температуре воды. При понижении температуры воды величина метаболических потерь экспоненциально снижается в два раза при снижении температуры на 10 °С [20].

6.3.5 Удельная активность i -го радионуклида во взрослом морском млекопитающем (тюлень массой 160 кг) в момент времени t после

аварийного поступления в морскую среду $A_{m,i}$, Бк/кг, при условии, что основным путем накопления является активная биологическая аккумуляция, рассчитывается с помощью уравнения [18]

$$\frac{dA_{m,i}}{dt} = -(\lambda_i + \varepsilon_{m,i}) \cdot A_{m,i}(t) + \varepsilon_{m,i} \cdot \frac{CF_{m,i}}{CF_{f,i}} \cdot A_{f,i}(t), \quad (6.6)$$

где $\varepsilon_{m,i}$ – параметр, характеризующий удельные метаболические потери i -го радионуклида в морском млекопитающем, сут⁻¹;

$CF_{m,i}$ – равновесный коэффициент накопления i -го радионуклида в морском млекопитающем, м³/кг;

$A_{f,i}$ – удельная активность i -го радионуклида в рыбе, рассчитываемая по формуле (6.4).

6.3.6 В предположении экспоненциального снижения активности радионуклидов в пятне загрязнения морской воды за счет оседания на дно, переноса и распада, уравнения (6.4) и (6.6) могут быть существенно упрощены.

В результате для динамического коэффициента накопления радионуклида в рыбе $CF_{f,i}(t)$, м³/кг, получаются простые аналитические выражения, удобные для практического применения в начальный период аварийного загрязнения морской среды

$$CF_{f,i}(t) = CF_{f,i} \cdot (1 - \exp[-(\lambda_i + \varepsilon_{f,i} - p_i) \cdot t]), \quad (6.7)$$

где p_i – параметр, характеризующий снижение активности радионуклида i в морской воде в соответствии с формулой

$$A_{w,i}(t) = A_{w,i}(0) \cdot \exp(-p_i \cdot t), \quad (6.8)$$

где $A_i(0)$ – удельная активность радионуклида i в морской воде в начальный момент аварийного загрязнения, Бк/м³.

Значение параметра p_i определяется из данных наблюдений или путем модельной/экспертной оценки с учетом скорости оседания радионуклида в донные отложения и радиоактивного распада.

6.3.7 В случае когда $A_i(t)=A_i(0)$, т.е. не происходит существенного снижения начальной активности радионуклида i в пятне загрязнения, для динамического коэффициента накопления радионуклида в рыбе получаем выражение

$$CF_{f,i}(t)=CF_{f,i} \cdot (1-\exp[-(\lambda_i+\varepsilon_{f,i}) \cdot t]). \quad (6.9)$$

6.3.8 Для коэффициентов накопления радионуклида в морских млекопитающих используются соотношения, аналогичные уравнениям (6.7) и (6.9), со значениями равновесного коэффициента накопления $CF_{m,i}$ и параметра удельных метаболических потерь $\varepsilon_{m,i}$, характерных для представительного млекопитающего.

6.3.9 Выражения (6.9) и (6.7) получены для частных случаев постоянной или экспоненциально снижающейся активности радионуклидов в морской воде и могут использоваться для приближенной оценки динамики накопления радионуклидов в морских позвоночных животных в условиях отсутствия или недостаточности данных наблюдений

6.3.10 При наличии информации о динамике содержания радионуклидов в морской воде для более детальной оценки экологических последствий аварийного загрязнения морской среды следует использовать общие уравнения (6.4) и (6.6).

6.4 Оценка мощности дозы облучения организмов морской биоты

Мощность дозы суммарного облучения k -ого представительного морского организма в момент времени t после аварийного поступления радионуклидов i в морскую среду $\dot{D}_k(t)$, мГр/сут, рекомендуется рассчитывать по формуле [21], [22]

$$\dot{D}_k(t) = \sum_i \tau \cdot (DCF_{int,i,k} \cdot A_{i,k}(t) + DCF_{ext,i,k} \cdot (A_{w,i}(t) + 0,5 \cdot T_s \cdot A_{s,i}(t))), \quad (6.10)$$

где τ – переводной коэффициент, равный $2,4 \cdot 10^{-2}$ (мГр/сут)/(мкГр/ч);

$DCF_{int,i,k}$ – дозовый коэффициент внутреннего облучения гидробионта, (мкГр/ч)/(Бк/кг);

$A_{i,k}$ – удельная активность i -го радионуклида в гидробионте, Бк/кг;

$DCF_{ext,i,k}$ – дозовый коэффициент внешнего облучения гидробионта, (мкГр/ч)/(Бк/кг);

$A_{w,i}$ – удельная активность i -го радионуклида в морской воде, Бк/кг;

$A_{s,i}$ – удельная активность i -го радионуклида в донных отложениях, Бк/кг;

T_s – доля времени, в течение которого гидробионт подвергается облучению от донных отложений, безразмерная величина, которую рекомендуется принять равной 1 для донных моллюсков и 0,5 для остальных организмов.

Значения дозовых коэффициентов $DCF_{int,i,k}$, $DCF_{ext,i,k}$ для k -ых референтных морских организмов приведены в приложении Б.

7 Порядок оценки радиационной безопасности морской среды после аварии

7.1 Оценка дозы острого облучения морской биоты при радиационной аварии

В начале аварии высокие мощности дозы для живых организмов генерируются в основном внешним облучением. Изолинии расстояний, соответствующих летальному поражению отдельных групп организмов морской биоты, определяются сравнением с пороговыми и летальными дозами облучения после аварийного загрязнения морской среды. Вероятности летального поражения отдельных групп биоты

оцениваются на основе доз острого внешнего облучения (суммарно за 10 сут) от радионуклидов аварийного происхождения, поступивших в морскую среду. При расчете доз на референтные организмы биоты учитывается внешнее облучение от радиоактивности в морской воде, а также внешнее облучение от радиоактивности, выпавшей в донные отложения в районе аварии.

Доза внешнего острого облучения k -ой группы референтных организмов биоты в начальный период аварии $D_{ext,k}$, мГр, от суммы i -х радионуклидов присутствующих в морской воде определяется по формуле

$$D_{ext,k} = \sum_i \left[T_{w,k} \cdot \tau \cdot DCF_{ext,i,k} \cdot \int_0^{t_{ac}} A_{w,i}(t) dt + T_{s,k} \cdot 0,5 \cdot \tau \cdot DCF_{ext,i,k} \cdot \int_0^{t_{ac}} A_{s,i}(t) dt \right], \quad (7.1)$$

где $T_{w,k}$ и $T_{s,k}$ – доли времени в течение суток, проводимые организмами k -го типа в толще морской воды и на дне, соответственно ($T_{w,k} + T_{s,k} = 1$);

τ – переводной коэффициент, равный $2,4 \cdot 10^{-2}$ (мГр/сут)/(мкГр/ч);

$DCF_{ext,i,k}$ – дозовый фактор конверсии внешнего облучения организма k -го типа от радионуклида i , содержащегося в морской среде, (мкГр/час)/(Бк/кг);

t_{ac} – время острого облучения, сут, обычно составляет от двух до 10 сут; время начала аварии принимается за $t = 0$;

$A_{w,i}$ – удельная активность i -го радионуклида в морской воде, Бк/кг;

$A_{s,i}$ – удельная активность i -го радионуклида в донных отложениях, Бк/кг.

В непосредственной близости от аварийного радиационно-опасного объекта на дне могут находиться следующие объекты морской биоты: донные беспозвоночные, моллюски, водоросли и донные рыбы ($T_{s,k} = 1$). В толще морской воды вблизи аварийного объекта могут

Р 52.18.929–2023

присутствовать рыбы, ракообразные (креветки, рачки), морские млекопитающие ($T_{w,k} = 1$).

7.2 Критерии оценки границ зон радиационного поражения морской биоты при остром аварийном облучении

Критерием радиационного поражения морской биоты при ее остром облучении после аварии являются величины летальных и пороговых доз облучения. Сравнением с пороговыми и летальными дозами острого облучения определяются расстояния от места аварии, соответствующие летальному поражению и пороговому воздействию на отдельные группы морских организмов.

В случае облучения морских организмов за первые 1–10 суток с момента аварии в дозах порядка 1 Гр и выше, необходима оценка процента летальности облученных организмов.

Распределение вероятности поражения организмов $P_{пор}$ определяется формулой по [23]

$$P_{пор} = f(Pr) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Pr} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt, \quad (7.2)$$

где верхним пределом интегрирования функции ошибок Гаусса является, так называемая, пробит-функция Pr , отражающая связь между вероятностью поражения и поглощенной дозой.

В соответствии с [8] величина пробит-функции Pr_k для k -ой группы организмов морской биоты определяется по формуле

$$Pr_k = a_k + b_k \cdot \ln(D_{ext,k}), \quad (7.3)$$

где a_k и b_k коэффициенты пробит-функции из таблицы 1, рассчитанные по данным о летальных дозах острого облучения, приведенных в работах [24]–[27];

$D_{ext,k}$ – доза острого облучения, мГр, рассчитанная по формуле (7.1).

Например, получив величину $Pr = 5$ на основании дозы облучения рыб, из таблицы 2 [8] определяем, что вероятность гибели рыб составляет 50 %.

Т а б л и ц а 1 – Значения коэффициентов a_k и b_k пробит-функции Pr_k [8]

Тип морских организмов	Коэффициенты пробит-функции	
	a_k	b_k
Рыба	-2,74	0,89
Икра рыб	0,975	0,618
Ракообразные	-1,09	0,64
Моллюски	-5,42	1,1
Яйца моллюсков	-11,065	1,84
Донные беспозвоночные (черви)	-0,252	0,485

Т а б л и ц а 2 – Связь вероятности поражения $P_{пор}$ со значением пробит-функции

$P_{пор}, \%$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		2,67	2,95	3,12	3,25	3,36	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,87	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	6,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33
99	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,65	7,75	7,88	8,09

П р и м е ч а н и е – Вероятность поражения определяется из таблицы, как сумма значений $P_{пор}$ строки и столбца, пересекающихся в ячейке со значением пробит-функции. Например, при значении пробит-функции равном 3,77 вероятность поражения составляет 11 %= 10 % (строка со значением 10) + 1 % (столбец со значением 1).

7.3 Критерии оценки радиационной безопасности при хроническом облучении морской биоты

Критерием радиационной безопасности морской биоты при ее хроническом облучении после аварии является величина предельно допустимой радиационной нагрузки P_{max} , при превышении которой возникают негативные биологические эффекты для морских организмов. Значение P_{max} составляет для морских млекопитающих 0,1 мГр/сут; для рыбы пелагической, рыбы придонной и морских водорослей – 1 мГр/сут; морских моллюсков и ракообразных – 10 мГр/сут, согласно Р 52.18.873, [7], [22].

Если для каждого представительного организма в любой момент времени после радиационной аварии мощность дозы облучения не превышает предельно допустимой радиационной нагрузки при хроническом облучении, то радиоактивное загрязнение морской среды не приведет к появлению негативных радиобиологических эффектов на заболеваемость, размножение и продолжительность жизни объектов биоты.

7.4 Порядок расчета обобщенного показателя риска для морской биоты после радиационной аварии

Обобщенный показатель риска ОПР, безразмерный, учитывающий пространственный масштаб, продолжительность и интенсивность радиационного воздействия на морскую биоту после радиационной аварии, согласно Р 52.18.923, вычисляется по формуле

$$ОПР = K_s \cdot K_t \cdot I, \quad (7.4)$$

где K_s – коэффициент, учитывающий пространственный масштаб загрязнения территории, безразмерный;

K_t – коэффициент, учитывающий временной масштаб радиационного воздействия, безразмерный;

I – интегральный показатель интенсивности загрязнения территории, безразмерный.

Величина $K_s = 1$ при площади воздействия на природную среду менее 10 км^2 , 2 – от 10 до 100 км^2 , 3 – свыше 100 км^2 .

Величина $K_t = 1$ для кратковременного воздействия радиоактивного загрязнения на биоту (менее 1 мес.), 2 – от 1 мес. до 1 г., 3 – для долговременного воздействия (более 1 г.).

Значение I зависит от показателя риска RQ , определяемого по формуле

$$RQ = \max_k \frac{D_{max,k}(t)}{P_{max,k}}, \quad (7.5)$$

где $D_{max,k}$ – максимальная мощность дозы облучения k -го представительного организма после аварии в мГр/сут;

$P_{max,k}$ – предельно допустимая радиационная нагрузка для k -го представительного организма, мГр/сут.

Согласно Р 52.18.923, $I = 2$ при $RQ < 0,1$; $I = 3$ при $0,1 \leq RQ < 1$; $I = 30$ при $RQ \geq 1$.

В соответствии с Р 52.18.923, используется следующая шкала оценки радиационной безопасности морской среды после радиационной аварии в зависимости от значения обобщенного показателя риска:

- до 10 радиационное воздействие на экосистему считается незначительным и не требует проведения природоохранных мероприятий;
- от 10 до 20 включительно – слабое радиационное воздействие;
- от 20 до 30 включительно – умеренное радиационное воздействие;
- более 30 – сильное радиационное воздействие, требующее оценки необходимости проведения природоохранных мероприятий.

Приложение А (рекомендуемое)

Значения коэффициентов распределения радионуклидов в компонентах морских водных объектов между водой и организмами биоты, между водой и донными отложениями

Т а б л и ц а А.1 – Коэффициенты распределения радионуклидов в морских водных объектах между водой и организмами биоты $CF_{i,k}$; между водой и донными отложениями $K_{d,i}$

Обозначение радионуклида	Значение $CF_{i,k}$, л/кг					Значение $K_{d,i}$, л/кг
	Морские ракообразные	Морская рыба	Морские моллюски	Морские растения	Морские млекопитающие	
^{14}C	10000	20000	20000	10000	17000	$1,00 \cdot 10^3$
^{32}P	27000	99000	99000	99000	190000	$5,00 \cdot 10^2$
^{33}P	27000	99000	99000	99000	190000	$5,00 \cdot 10^2$
^{35}S	1,2	1	1	3	1,5	$5,00 \cdot 10^{-1}$
^{36}Cl	0,056	0,06	0,06	0,05	0,033	$3,00 \cdot 10^{-2}$
^{40}K	7,8	7,81	7,81	7,81	7,8	$1,00 \cdot 10^3$
^{45}Ca	3	2	2	6	2	$5,00 \cdot 10^2$
^{51}Cr	2000	200	200	6000	200	$1,00 \cdot 10^4$
^{54}Mn	5900	1000	1000	6000	4600	$1,00 \cdot 10^4$
^{57}Co	1800	700	700	6000	500	$1,00 \cdot 10^4$
^{58}Co	1800	700	700	6000	500	$1,00 \cdot 10^4$
^{60}Co	1800	700	700	6000	500	$1,00 \cdot 10^4$
^{59}Ni	550	1000	1000	2000	170	$2,00 \cdot 10^4$
^{63}Ni	550	1000	1000	2000	170	$2,00 \cdot 10^4$
^{65}Zn	80000	1000	1000	2000	1000	$7,00 \cdot 10^4$
^{75}Se	7100	10000	10000	1000	8300	$3,00 \cdot 10^3$
^{79}Se	7100	10000	10000	1000	8300	$3,00 \cdot 10^3$
^{89}Sr	13	3	3	10	1,4	$5,00 \cdot 10^2$
^{90}Sr	13	3	3	10	1,4	$5,00 \cdot 10^2$
^{95}Zr	220	20	20	3000	83	$1,00 \cdot 10^4$
^{94}Nb	100	30	30	3000	83	$1,00 \cdot 10^4$
^{95}Nb	100	30	30	3000	83	$1,00 \cdot 10^4$
^{99}Tc	22000	80	80	30000	24	$1,00 \cdot 10^2$
^{103}Ru	320	2	2	2000	26	$4,00 \cdot 10^3$
^{106}Ru	320	2	2	2000	26	$4,00 \cdot 10^3$
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	16000	10000	10000	5000	22000	$1,00 \cdot 10^4$

Продолжение таблицы А.1

Обозначение радионуклида	Значение $CF_{i,k}$, л/кг					Значение $K_{d,i}$, л/кг
	Морские ракообразные	Морская рыба	Морские моллюски	Морские растения	Морские млекопитающие	
^{109}Cd	2600000	5000	5000	20000	4700	$3,00 \cdot 10^4$
^{124}Sb	1400	600	600	20	230	$2,00 \cdot 10^3$
^{125}Sb	1400	600	600	20	230	$2,00 \cdot 10^3$
$^{129\text{m}}\text{Te}$	1000	1000	1000	10000	1000	$1,00 \cdot 10^3$
^{132}Te	1000	1000	1000	10000	1000	$1,00 \cdot 10^3$
^{125}I	3,6	9	9	10000	0,68	$7,00 \cdot 10^1$
^{129}I	3,6	9	9	10000	0,68	$7,00 \cdot 10^1$
^{131}I	3,6	9	9	10000	0,68	$7,00 \cdot 10^1$
^{132}I	3,6	9	9	10000	0,68	$7,00 \cdot 10^1$
^{133}I	3,6	9	9	10000	0,68	$7,00 \cdot 10^1$
^{134}Cs	41	100	100	50	210	$4,00 \cdot 10^3$
^{135}Cs	41	100	100	50	210	$4,00 \cdot 10^3$
^{136}Cs	41	100	100	50	210	$4,00 \cdot 10^3$
^{137}Cs	41	100	100	50	210	$4,00 \cdot 10^3$
^{140}Ba	10	10	10	70	10	$5,00 \cdot 10^2$
^{140}La	10	10	10	70	10	$5,00 \cdot 10^2$
^{141}Ce	3400	50	50	5000	120	$1,00 \cdot 10^5$
^{144}Ce	3400	50	50	5000	120	$1,00 \cdot 10^5$
^{152}Eu	4000	300	300	3000	440	$5,00 \cdot 10^3$
^{154}Eu	4000	300	300	3000	440	$5,00 \cdot 10^3$
^{155}Eu	4000	300	300	3000	440	$5,00 \cdot 10^3$
^{192}Ir	100	21	21	1000	21	$5,00 \cdot 10^3$
^{210}Pb	10000	200	200	1000	19000	$1,00 \cdot 10^5$
^{210}Po	60000	2000	2000	1000	10000	$2,00 \cdot 10^6$
^{226}Ra	150	100	100	100	60	$2,00 \cdot 10^3$
^{228}Ra	150	100	100	100	60	$2,00 \cdot 10^3$
^{227}Th	1000	600	600	200	180	$1,00 \cdot 10^5$
^{228}Th	1000	600	600	200	180	$1,00 \cdot 10^5$
^{229}Th	1000	600	600	200	180	$1,00 \cdot 10^5$
^{230}Th	1000	600	600	200	180	$1,00 \cdot 10^5$
^{231}Th	1000	600	600	200	180	$1,00 \cdot 10^5$
^{232}Th	1000	600	600	200	180	$1,00 \cdot 10^5$
^{234}Th	1000	600	600	200	180	$1,00 \cdot 10^5$
^{231}Pa	500	50	50	100	50	$1,00 \cdot 10^3$
^{233}U	10	1	1	100	0,4	$1,00 \cdot 10^3$
^{234}U	10	1	1	100	0,4	$1,00 \cdot 10^3$
^{235}U	10	1	1	100	0,4	$1,00 \cdot 10^3$
^{238}U	10	1	1	100	0,4	$1,00 \cdot 10^3$

Р 52.18.929–2023

Окончание таблицы А.1

Обозначение радионуклида	Значение $CF_{i,k}$, л/кг					Значение $K_{d,i}$, л/кг
	Морские ракообразные	Морская рыба	Морские моллюски	Морские растения	Морские млекопитающие	
^{237}Np	100	1	1	50	0,4	$1,00 \cdot 10^3$
^{238}Pu	160	100	100	4000	280	$1,00 \cdot 10^4$
^{239}Pu	160	100	100	4000	280	$1,00 \cdot 10^4$
^{240}Pu	160	100	100	4000	280	$1,00 \cdot 10^4$
^{241}Pu	160	100	100	4000	280	$1,00 \cdot 10^4$
^{241}Am	1300	100	100	8000	280	$1,00 \cdot 10^4$
^{242}Cm	1300	100	100	5000	280	$1,00 \cdot 10^4$
^{243}Cm	1300	100	100	5000	280	$1,00 \cdot 10^4$
^{244}Cm	1300	100	100	5000	280	$1,00 \cdot 10^4$

Приложение Б (рекомендуемое)

Параметры для оценки мощностей дозы облучения объектов морской биоты

Т а б л и ц а Б .1 – Факторы дозовой конверсии для внутреннего $DCF_{int,i,k}$ и внешнего $DCF_{ext,i,k}$ облучения морских рыб, (мкГр/ч)/(Бк/кг)

Обозначение радионуклида	Морская пелагическая рыба		Морская придонная рыба	
	$DCF_{int,i,k}$	$DCF_{ext,i,k}$	$DCF_{int,i,k}$	$DCF_{ext,i,k}$
³ H	$3,3 \cdot 10^{-6}$	$8,3 \cdot 10^{-15}$	$3,3 \cdot 10^{-6}$	$7,8 \cdot 10^{-13}$
¹⁴ C	$2,9 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-8}$	$2,9 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-8}$
³² P	$3,9 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$3,8 \cdot 10^{-4}$	$2,2 \cdot 10^{-5}$
³³ P	$4,4 \cdot 10^{-5}$	$7,8 \cdot 10^{-8}$	$4,4 \cdot 10^{-5}$	$6,3 \cdot 10^{-8}$
³⁵ S	$2,8 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-8}$	$2,8 \cdot 10^{-5}$	$1,9 \cdot 10^{-8}$
³⁶ Cl	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$
⁴⁰ K	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$9,0 \cdot 10^{-5}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$9,5 \cdot 10^{-5}$
⁴⁵ Ca	$4,4 \cdot 10^{-5}$	$8,2 \cdot 10^{-8}$	$4,5 \cdot 10^{-5}$	$6,6 \cdot 10^{-8}$
⁵¹ Cr	$4,9 \cdot 10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$4,6 \cdot 10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$
⁵⁴ Mn	$5,1 \cdot 10^{-5}$	$4,3 \cdot 10^{-4}$	$4,4 \cdot 10^{-5}$	$4,4 \cdot 10^{-4}$
⁵⁷ Co	$2,1 \cdot 10^{-5}$	$6,2 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	$6,3 \cdot 10^{-5}$
⁵⁸ Co	$7,8 \cdot 10^{-5}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$6,9 \cdot 10^{-5}$	$5,1 \cdot 10^{-4}$
⁶⁰ Co	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$
⁵⁹ Ni	$4,0 \cdot 10^{-6}$	$3,2 \cdot 10^{-8}$	$4,0 \cdot 10^{-6}$	$2,5 \cdot 10^{-8}$
⁶³ Ni	$9,9 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-9}$	$9,9 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-9}$
⁶⁵ Zn	$3,7 \cdot 10^{-5}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$3,2 \cdot 10^{-5}$	$3,1 \cdot 10^{-4}$
⁷⁵ Se	$3,6 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$3,3 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$
⁷⁹ Se	$3,2 \cdot 10^{-5}$	$3,1 \cdot 10^{-8}$	$3,2 \cdot 10^{-5}$	$2,4 \cdot 10^{-8}$
⁸⁹ Sr	$3,3 \cdot 10^{-4}$	$9,5 \cdot 10^{-6}$	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$
⁹⁰ Sr	$6,2 \cdot 10^{-4}$	$2,7 \cdot 10^{-5}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-5}$
⁹⁵ Zr	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$3,8 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$3,9 \cdot 10^{-4}$
⁹⁴ Nb	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$8,2 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$8,3 \cdot 10^{-4}$
⁹⁵ Nb	$7,1 \cdot 10^{-5}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$6,3 \cdot 10^{-5}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$
⁹⁹ Tc	$5,8 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-7}$	$5,8 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-7}$
¹⁰³ Ru	$9,5 \cdot 10^{-5}$	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$9,0 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$
¹⁰⁶ Ru	$7,7 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$7,3 \cdot 10^{-4}$	$2,2 \cdot 10^{-4}$
^{110m} Ag	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$
¹⁰⁹ Cd	$5,6 \cdot 10^{-5}$	$6,5 \cdot 10^{-6}$	$5,6 \cdot 10^{-5}$	$7,1 \cdot 10^{-6}$
¹²⁴ Sb	$3,1 \cdot 10^{-4}$	$9,6 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$9,8 \cdot 10^{-4}$
¹²⁵ Sb	$8,7 \cdot 10^{-5}$	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$8,3 \cdot 10^{-5}$	$2,2 \cdot 10^{-4}$
^{129m} Te	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$4,5 \cdot 10^{-5}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$5,1 \cdot 10^{-5}$

Окончание таблицы Б.1

Обозначение радионуклида	Пелагическая рыба		Придонная рыба	
	$DCF_{int,i,k}$	$DCF_{ext,i,k}$	$DCF_{int,i,k}$	$DCF_{ext,i,k}$
¹³² Te	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$4,7 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$
¹²⁵ I	$2,2 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$2,1 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$
¹²⁹ I	$4,2 \cdot 10^{-5}$	$8,5 \cdot 10^{-6}$	$4,2 \cdot 10^{-5}$	$9,2 \cdot 10^{-6}$
¹³¹ I	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$
¹³² I	$4,1 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$3,8 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$
¹³³ I	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$3,3 \cdot 10^{-4}$
¹³⁴ Cs	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$8,1 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$8,2 \cdot 10^{-4}$
¹³⁵ Cs	$3,9 \cdot 10^{-5}$	$5,5 \cdot 10^{-8}$	$3,9 \cdot 10^{-5}$	$4,3 \cdot 10^{-8}$
¹³⁶ Cs	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$
¹³⁷ Cs	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$
¹⁴⁰ Ba	$6,8 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$6,5 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$
¹⁴⁰ La	$4,2 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$
¹⁴¹ Ce	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$3,9 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$3,9 \cdot 10^{-5}$
¹⁴⁴ Ce	$7,1 \cdot 10^{-4}$	$7,2 \cdot 10^{-5}$	$6,7 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$
¹⁵² Eu	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$6,1 \cdot 10^{-4}$
¹⁵⁴ Eu	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$6,5 \cdot 10^{-4}$	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$6,6 \cdot 10^{-4}$
¹⁵⁵ Eu	$4,1 \cdot 10^{-5}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$	$4,1 \cdot 10^{-5}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$
¹⁹² Ir	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$4,2 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$4,3 \cdot 10^{-4}$
²¹⁰ Pb	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$4,9 \cdot 10^{-6}$	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$6,1 \cdot 10^{-6}$
²¹⁰ Po	$3,1 \cdot 10^{-3}$	$4,4 \cdot 10^{-9}$	$3,1 \cdot 10^{-3}$	$4,3 \cdot 10^{-9}$
²²⁶ Ra	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$9,4 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$9,7 \cdot 10^{-4}$
²²⁸ Ra	$3,4 \cdot 10^{-4}$	$5,1 \cdot 10^{-4}$	$3,3 \cdot 10^{-4}$	$5,2 \cdot 10^{-4}$
²²⁷ Th	$3,4 \cdot 10^{-3}$	$5,4 \cdot 10^{-5}$	$3,4 \cdot 10^{-3}$	$5,5 \cdot 10^{-5}$
²²⁸ Th	$1,9 \cdot 10^{-2}$	$8,4 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-2}$	$8,6 \cdot 10^{-4}$
²²⁹ Th	$2,9 \cdot 10^{-3}$	$4,4 \cdot 10^{-5}$	$2,9 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-5}$
²³⁰ Th	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-7}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-7}$
²³¹ Th	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$7,5 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$7,7 \cdot 10^{-6}$
²³² Th	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-7}$	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-7}$
²³⁴ Th	$4,9 \cdot 10^{-4}$	$3,4 \cdot 10^{-5}$	$4,7 \cdot 10^{-4}$	$5,1 \cdot 10^{-5}$
²³¹ Pa	$2,9 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	$2,9 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$
²³³ U	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-7}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$2,6 \cdot 10^{-7}$
²³⁴ U	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-7}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-7}$
²³⁵ U	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$8,6 \cdot 10^{-5}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$8,7 \cdot 10^{-5}$
²³⁸ U	$2,4 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-7}$	$2,4 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-7}$
²³⁷ Np	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$
²³⁸ Pu	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$1,9 \cdot 10^{-7}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-7}$
²³⁹ Pu	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$9,7 \cdot 10^{-8}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-7}$
²⁴⁰ Pu	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-7}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$1,9 \cdot 10^{-7}$
²⁴¹ Pu	$3,0 \cdot 10^{-6}$	$8,9 \cdot 10^{-10}$	$3,1 \cdot 10^{-6}$	$9,1 \cdot 10^{-10}$
²⁴¹ Am	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$
²⁴² Cm	$3,5 \cdot 10^{-3}$	$2,1 \cdot 10^{-7}$	$3,5 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-7}$
²⁴³ Cm	$3,4 \cdot 10^{-3}$	$6,5 \cdot 10^{-5}$	$3,4 \cdot 10^{-3}$	$6,6 \cdot 10^{-5}$
²⁴⁴ Cm	$3,3 \cdot 10^{-3}$	$1,9 \cdot 10^{-7}$	$3,3 \cdot 10^{-3}$	$2,1 \cdot 10^{-7}$
²⁵² Cf	$3,5 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-7}$	$3,5 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-7}$

Т а б л и ц а Б .2 – Факторы дозовой конверсии для внутреннего $DCF_{int,i,k}$ и внешнего $DCF_{ext,i,k}$ облучения морских моллюсков и морских растений, (мкГр/ч)/(Бк/кг)

Обозначение радионуклида	Морские моллюски		Морские растения	
	$DCF_{int,i,k}$	$DCF_{ext,i,k}$	$DCF_{int,i,k}$	$DCF_{ext,i,k}$
^3H	$3,3 \cdot 10^{-6}$	$2,9 \cdot 10^{-12}$	$3,3 \cdot 10^{-6}$	$2,2 \cdot 10^{-11}$
^{14}C	$2,8 \cdot 10^{-5}$	$7,2 \cdot 10^{-8}$	$2,8 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-7}$
^{32}P	$3,6 \cdot 10^{-4}$	$3,8 \cdot 10^{-5}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$
^{33}P	$4,4 \cdot 10^{-5}$	$2,4 \cdot 10^{-7}$	$4,4 \cdot 10^{-5}$	$6,8 \cdot 10^{-7}$
^{35}S	$2,8 \cdot 10^{-5}$	$7,6 \cdot 10^{-8}$	$2,8 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-7}$
^{36}Cl	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$5,1 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$2,2 \cdot 10^{-5}$
^{40}K	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$
^{45}Ca	$4,4 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-7}$	$4,4 \cdot 10^{-5}$	$7,2 \cdot 10^{-7}$
^{51}Cr	$3,5 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$3,0 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$
^{54}Mn	$1,9 \cdot 10^{-5}$	$4,7 \cdot 10^{-4}$	$8,6 \cdot 10^{-6}$	$4,8 \cdot 10^{-4}$
^{57}Co	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$6,7 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$6,9 \cdot 10^{-5}$
^{58}Co	$4,0 \cdot 10^{-5}$	$5,4 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-5}$	$5,6 \cdot 10^{-4}$
^{60}Co	$9,8 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$6,8 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$
^{59}Ni	$3,9 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-7}$	$3,7 \cdot 10^{-6}$	$2,9 \cdot 10^{-7}$
^{63}Ni	$9,9 \cdot 10^{-6}$	$4,7 \cdot 10^{-9}$	$9,9 \cdot 10^{-6}$	$7,0 \cdot 10^{-9}$
^{65}Zn	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$8,8 \cdot 10^{-6}$	$3,3 \cdot 10^{-4}$
^{75}Se	$1,9 \cdot 10^{-5}$	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$2,2 \cdot 10^{-4}$
^{79}Se	$3,2 \cdot 10^{-5}$	$9,4 \cdot 10^{-8}$	$3,2 \cdot 10^{-5}$	$2,1 \cdot 10^{-7}$
^{89}Sr	$3,1 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$8,8 \cdot 10^{-5}$
^{90}Sr	$5,8 \cdot 10^{-4}$	$7,7 \cdot 10^{-5}$	$4,5 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$
^{95}Zr	$8,2 \cdot 10^{-5}$	$4,1 \cdot 10^{-4}$	$7,0 \cdot 10^{-5}$	$4,2 \cdot 10^{-4}$
^{94}Nb	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$8,8 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$9,0 \cdot 10^{-4}$
^{95}Nb	$4,1 \cdot 10^{-5}$	$4,3 \cdot 10^{-5}$	$3,1 \cdot 10^{-5}$	$4,4 \cdot 10^{-4}$
^{99}Tc	$5,8 \cdot 10^{-5}$	$4,6 \cdot 10^{-7}$	$5,7 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$
^{103}Ru	$7,5 \cdot 10^{-5}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$6,7 \cdot 10^{-5}$	$2,7 \cdot 10^{-4}$
^{106}Ru	$6,6 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$4,5 \cdot 10^{-4}$	$4,9 \cdot 10^{-4}$
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$6,2 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$
^{109}Cd	$5,2 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$4,9 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$
^{124}Sb	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$
^{125}Sb	$6,7 \cdot 10^{-5}$	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$5,8 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$
$^{129\text{m}}\text{Te}$	$3,3 \cdot 10^{-4}$	$6,6 \cdot 10^{-5}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$
^{132}Te	$3,8 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$
^{125}I	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$
^{129}I	$3,9 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$3,8 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$
^{131}I	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$
^{132}I	$3,1 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$
^{133}I	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$
^{134}Cs	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$8,7 \cdot 10^{-4}$	$9,5 \cdot 10^{-5}$	$9,0 \cdot 10^{-4}$

Окончание таблицы Б.2

Обозначение радионуклида	Морские моллюски		Морские растения	
	$DCF_{int,i,k}$	$DCF_{ext,i,k}$	$DCF_{int,i,k}$	$DCF_{ext,i,k}$
^{135}Cs	$3,9 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-7}$	$3,8 \cdot 10^{-5}$	$4,3 \cdot 10^{-7}$
^{136}Cs	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$9,1 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$
^{137}Cs	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$3,4 \cdot 10^{-4}$
^{140}Ba	$5,5 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$4,4 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$
^{140}La	$3,3 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$
^{141}Ce	$9,9 \cdot 10^{-5}$	$4,4 \cdot 10^{-5}$	$9,4 \cdot 10^{-5}$	$4,9 \cdot 10^{-5}$
^{144}Ce	$6,3 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$4,6 \cdot 10^{-4}$	$3,2 \cdot 10^{-4}$
^{152}Eu	$8,7 \cdot 10^{-5}$	$6,5 \cdot 10^{-4}$	$6,8 \cdot 10^{-5}$	$6,7 \cdot 10^{-4}$
^{154}Eu	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$7,0 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$7,3 \cdot 10^{-4}$
^{155}Eu	$3,8 \cdot 10^{-5}$	$3,3 \cdot 10^{-5}$	$3,7 \cdot 10^{-5}$	$3,4 \cdot 10^{-5}$
^{192}Ir	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$4,6 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$4,8 \cdot 10^{-4}$
^{210}Pb	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$4,7 \cdot 10^{-5}$
^{210}Po	$3,1 \cdot 10^{-3}$	$4,7 \cdot 10^{-9}$	$3,1 \cdot 10^{-3}$	$4,9 \cdot 10^{-9}$
^{226}Ra	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$
^{228}Ra	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$5,6 \cdot 10^{-4}$	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$
^{227}Th	$3,4 \cdot 10^{-3}$	$5,9 \cdot 10^{-5}$	$3,4 \cdot 10^{-3}$	$6,2 \cdot 10^{-5}$
^{228}Th	$1,9 \cdot 10^{-2}$	$9,2 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$
^{229}Th	$2,9 \cdot 10^{-3}$	$4,9 \cdot 10^{-45}$	$2,9 \cdot 10^{-3}$	$5,2 \cdot 10^{-5}$
^{230}Th	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$4,4 \cdot 10^{-7}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$6,3 \cdot 10^{-7}$
^{231}Th	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$9,6 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$
^{232}Th	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$3,2 \cdot 10^{-7}$	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-7}$
^{234}Th	$4,5 \cdot 10^{-4}$	$7,3 \cdot 10^{-5}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$
^{231}Pa	$2,9 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$	$2,9 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$
^{233}U	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-7}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$5,6 \cdot 10^{-7}$
^{234}U	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$4,1 \cdot 10^{-7}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$6,6 \cdot 10^{-7}$
^{235}U	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$9,6 \cdot 10^{-5}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$
^{238}U	$2,4 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-7}$	$2,4 \cdot 10^{-3}$	$5,1 \cdot 10^{-7}$
^{237}Np	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$
^{238}Pu	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$4,4 \cdot 10^{-7}$	$3,2 \cdot 10^{-43}$	$7,1 \cdot 10^{-7}$
^{239}Pu	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$1,9 \cdot 10^{-7}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-7}$
^{240}Pu	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$4,2 \cdot 10^{-7}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$6,8 \cdot 10^{-7}$
^{241}Pu	$3,1 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-9}$	$3,1 \cdot 10^{-6}$	$1,3 \cdot 10^{-9}$
^{241}Am	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$
^{242}Cm	$3,5 \cdot 10^{-3}$	$4,8 \cdot 10^{-7}$	$3,5 \cdot 10^{-3}$	$7,6 \cdot 10^{-7}$
^{243}Cm	$3,4 \cdot 10^{-3}$	$7,2 \cdot 10^{-5}$	$3,4 \cdot 10^{-3}$	$7,7 \cdot 10^{-5}$
^{244}Cm	$3,3 \cdot 10^{-3}$	$4,4 \cdot 10^{-7}$	$3,3 \cdot 10^{-3}$	$7,0 \cdot 10^{-7}$
^{252}Cf	$3,5 \cdot 10^{-3}$	$3,6 \cdot 10^{-7}$	$3,5 \cdot 10^{-3}$	$5,3 \cdot 10^{-7}$

Т а б л и ц а Б .3 – Факторы дозовой конверсии для внутреннего $DCF_{int,i,k}$ и внешнего $DCF_{ext,i,k}$ облучения морских млекопитающих и ракообразных, (мкГр/час)/(Бк/кг)

Обозначение радионуклида	Морские млекопитающие		Морские ракообразные	
	$DCF_{int,i,k}$	$DCF_{ext,i,k}$	$DCF_{int,i,k}$	$DCF_{ext,i,k}$
^3H	$3,3 \cdot 10^{-6}$	$3,3 \cdot 10^{-14}$	$3,3 \cdot 10^{-6}$	$7,4 \cdot 10^{-15}$
^{14}C	$2,9 \cdot 10^{-5}$	$3,6 \cdot 10^{-9}$	$2,9 \cdot 10^{-5}$	$2,1 \cdot 10^{-8}$
^{32}P	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-6}$	$3,9 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$
^{33}P	$4,4 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-8}$	$4,4 \cdot 10^{-5}$	$7,2 \cdot 10^{-8}$
^{35}S	$2,8 \cdot 10^{-5}$	$3,8 \cdot 10^{-9}$	$2,8 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-8}$
^{36}Cl	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-7}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-6}$
^{40}K	$3,4 \cdot 10^{-4}$	$4,8 \cdot 10^{-5}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$8,8 \cdot 10^{-5}$
^{45}Ca	$4,5 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-8}$	$4,5 \cdot 10^{-5}$	$7,5 \cdot 10^{-8}$
^{51}Cr	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$7,1 \cdot 10^{-6}$	$5,2 \cdot 10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$
^{54}Mn	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$6,0 \cdot 10^{-5}$	$4,3 \cdot 10^{-4}$
^{57}Co	$5,9 \cdot 10^{-5}$	$2,4 \cdot 10^{-5}$	$2,2 \cdot 10^{-5}$	$6,1 \cdot 10^{-5}$
^{58}Co	$3,3 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$8,7 \cdot 10^{-5}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$
^{60}Co	$7,8 \cdot 10^{-4}$	$7,2 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$
^{59}Ni	$4,0 \cdot 10^{-6}$	$4,9 \cdot 10^{-9}$	$4,0 \cdot 10^{-6}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$
^{63}Ni	$9,9 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-10}$	$9,9 \cdot 10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-9}$
^{65}Zn	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$4,3 \cdot 10^{-5}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$
^{75}Se	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$8,4 \cdot 10^{-5}$	$4,0 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$
^{79}Se	$3,2 \cdot 10^{-5}$	$4,7 \cdot 10^{-9}$	$3,2 \cdot 10^{-5}$	$2,8 \cdot 10^{-8}$
^{89}Sr	$3,3 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$3,3 \cdot 10^{-4}$	$8,4 \cdot 10^{-6}$
^{90}Sr	$6,5 \cdot 10^{-4}$	$4,2 \cdot 10^{-6}$	$6,3 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$
^{95}Zr	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$3,8 \cdot 10^{-4}$
^{94}Nb	$5,9 \cdot 10^{-4}$	$4,1 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$8,0 \cdot 10^{-4}$
^{95}Nb	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$7,8 \cdot 10^{-5}$	$3,9 \cdot 10^{-4}$
^{99}Tc	$5,8 \cdot 10^{-5}$	$2,4 \cdot 10^{-8}$	$5,8 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-7}$
^{103}Ru	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$2,4 \cdot 10^{-4}$
^{106}Ru	$8,8 \cdot 10^{-4}$	$6,1 \cdot 10^{-5}$	$7,8 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	$8,9 \cdot 10^{-4}$	$7,4 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$
^{109}Cd	$6,2 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-6}$	$5,7 \cdot 10^{-5}$	$5,8 \cdot 10^{-6}$

Библиография

- [1] Указ Президента РФ от 13 октября 2018 г. № 585 «Об утверждении Основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу».
- [2] Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7–ФЗ «Об охране окружающей среды».
- [3] Санитарные правила СП 2.6.1.2612-10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010).
- [4] Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов.
- [5] Постановление Правительства Российской Федерации от 19 октября 2012 г. № 1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов».
- [6] Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. Safety Standards Series No. GSR Part 3. Vienna: International Atomic Energy Agency (IAEA), 2014. – 458 p.
- [7] Р 52.18.852-2016. Порядок расчета контрольных уровней содержания радионуклидов в морских водах. – Обнинск, 2016. – 26 с.

- [8] Руководство по безопасности «Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ». – М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2015.
- [9] Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. 2003. – 840 с.
- [10] Техногенные радионуклиды в морях, омывающих Россию. – М.: ИздАТ, 2005. – 624 с.
- [11] Котеров В.Н., Юрезанская Ю.С. Моделирование переноса взвешенных веществ на океаническом шельфе. Эффективная гидравлическая крупность полидисперсной взвеси // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. 2009. Т. 49. № 7. – С. 1306-1318.
- [12] Котеров В.Н., Юрезанская Ю.С. Моделирование переноса взвешенных веществ на океаническом шельфе. Горизонтальное рассеяние // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. 2010, Т. 50. № 2. – С. 375-387.
- [13] Radiological Risk Assessment and Environmental Analysis. Edited by John E. Till and Helen A. Grogan. Oxford, University Press, 2008. – 729 p.
- [14] Sufen Ye, Luoping Zhang, Huan Feng. Marine ecological risk assessment methods for radiation accidents. Journal of Environmental Radioactivity. 2017. V. 180. P. 65-76.
- [15] Ганул М.Н., Кучин Н.Л., Платовских Ю.А., Сергеев И.В., Струев В.П. Моделирование радиационного воздействия атомных объектов морской техники в проблеме безопасности морской среды и человека. – СПб.: СПбГУ, 2003.
- [16] Озмидов Р.В. Диффузия примесей в океане. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986.
- [17] Громов В.В., Москвин А.И., Сапожников Ю.А. Техногенная радиоактивность Мирового океана. – М.: Энергоатомиздат, 1985.

Р 52.18.929–2023

- [18] Сазыкина Т.Г., Крышев А.И., Крышев И.И. Моделирование радиоэкологических процессов в окружающей среде. – М.: ООО «Маска», 2022. – 638 с.
- [19] Винберг Г.Г. Интенсивность обмена и пищевые потребности рыб. – Минск: БГУ, 1956. – 253 с.
- [20] Ивлев В.Г. Метод вычисления количества пищи, потребляемого растущей рыбой// Биология внутренних водоемов Прибалтики. Труды VII научной конференции по изучению внутренних водоемов Прибалтики. Петрозаводск, 1959. – М.: Изд. АН СССР, 1962. – С. 132 – 138.
- [21] Р 52.18.820–2015 Оценка радиационно-экологического воздействия на объекты природной среды по данным мониторинга радиационной обстановки. – Обнинск, 2015. – 64 с.
- [22] ICRP Publication 136. Dose Coefficients for Non-human Biota Environmentally Exposed to Radiation //Ann. ICRP. – 2017. V.46(2). – 136 p. [Электронный ресурс]: <http://biotaDC.icrp.org>
- [23] Грот М. Оптимальные статистические решения, пер. с англ. – М.: Мир. 1974. – 493 с.
- [24] Поликарпов Г.Г. Радиоэкология морских организмов. – М.: Атомиздат, 1964. – 295 с.
- [25] Перцов Л.А. Биологические аспекты радиоактивного загрязнения моря. – М.: Атомиздат, 1978. – 160 с.
- [26] Поликарпов Г.Г., Егоров В.Н. Морская динамическая радиохемозэкология. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 175 с.
- [27] Машнева Н.И., Родионова Л.Ф., Тихонова А.И. и др. Биологические последствия радиоактивного загрязнения водоемов / Ред. Рамзаев П.В. – М.: Энергоиздат, 1983.

Ключевые слова: радиационная авария, морская среда, оценка радиационной безопасности, пятно радиоактивного загрязнения, морская биота, дозы, острое аварийное облучение, хроническое облучение, обобщенный показатель риска

Лист регистрации изменений

Поряд- ковый номер изме- нения	Номер страницы				Номер регистра- ции изменения в ГОС, дата	Под- пись	Дата	
	изме- ненной	замене- нной	новой	аннули- рованной			внесения изменения	введения измене- ния