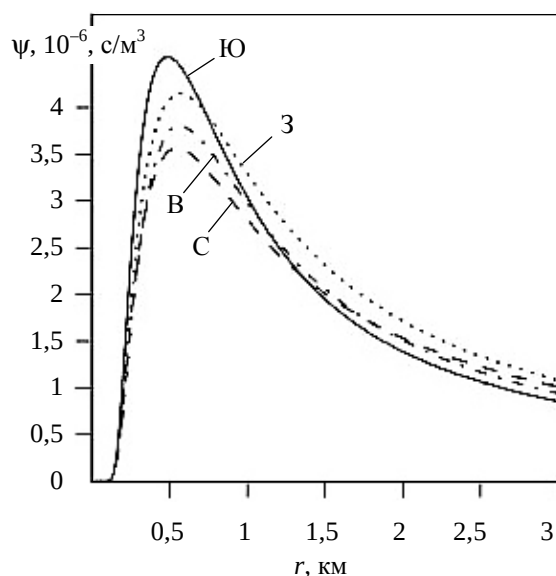
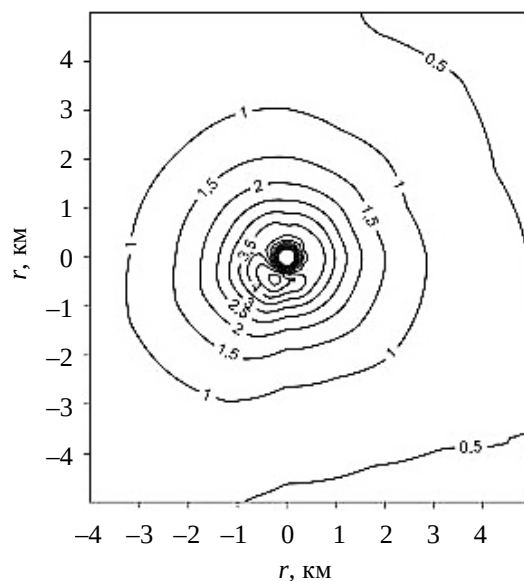




Р и с. 1. Зависимость коэффициента метеорологического разбавления от расстояния от источника в основных угловых секторах на высоте 100 м



Р и с. 2. Пространственное распределение коэффициента метеорологического разбавления на высоте источника 100 м

4. Брюхань Ф.Ф., Иванов В.Н. Концептуальная схема аэрометеорологических исследований при выборе пункта и площадки атомных станций. — Труды ИЭМ, 1992, вып. 55(155), с. 3—12.
5. Соколов Ю.Ю. Архив срочных аэрологических данных в пограничном слое на МЛ ЕС ЭВМ. — Труды ВНИИГМИ—МЦД, 1987, вып. 140, с. 48—55.
6. Алдухов О.А., Брюхань А.Ф. Пакет программ статистической обработки аэрологических данных для оценки условий атмосферной дисперсии при геоэкологическом обосновании строительства АЭС и ТЭС. — Вестник МГСУ, 2012, № 2, с. 188—192.

7. Alduchov O.A., Eskridge R.E. Complex Quality Control of Upper Air Parameters at Mandatory and Significant Levels for the CARDS Dataset. NCDC Report. Asheville (NC), 1996. 151 p.
8. Vogt K. Empirical investigation of the diffusion of waste air plumes in the atmosphere. — Nucl. Technol., 1977, v. 34, № 1, p. 43—57.
9. Kristensen L. Atmospheric turbulence and air pollution modelling. — In: Rep. from the Panel Discussion. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1984, p. 311—321.

Поступила в Редакцию 12.09.12

УДК 504.054;574

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ВЫБРОСОВ И СБРОСОВ РАДИОНУКЛИДОВ

Крышев И.И., Крышев А.И., Скакунова М.А. (НПО «Тайфун», г. Обнинск)

В настоящее время МАГАТЭ, МКРЗ, НКДАР ООН и другие международные организации наряду с приоритетным обеспечением безопасности человека проявляют значительный интерес к регулированию и научному обоснованию радиационной безопасности окружающей среды. В соответствии с международными нормами [1] нынешнее и будущее поколение людей и окружающая среда должны быть защищены от

радиационных рисков, при этом необходимо подтверждать, а не исходить из предположения, что окружающая среда защищена от радиационного воздействия. В проекте нового документа Евросоюза [2], устанавливающего основные нормы безопасности по защите от ионизирующей радиации, указывается, что при установлении допустимых сбросов радионуклидов должна также быть обеспечена адекватная защита при-

родной биоты. Требования к обеспечению радиационной безопасности окружающей среды содержатся в отечественном федеральном законе «Об охране окружающей среды». В соответствии с ним при соблюдении нормативов допустимых выбросов и сбросов радионуклидов в окружающую среду должны обеспечиваться условия, достаточные для устойчивого функционирования естественных экологических систем, природных и природно-антропогенных объектов, а также сохранения биологического разнообразия. Требование выполнения этих условий сохранения благоприятной окружающей среды содержится в методике разработки и установления нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферу [3]. В связи с этим возникает актуальная задача создания методики оценки воздействия на окружающую среду выбросов и сбросов радионуклидов объектов использования атомной энергии. Изложение основных положений этой методики и примеров ее практического применения является предметом настоящей статьи.

Методика оценки радиационного воздействия на окружающую среду. В связи с огромным видовым разнообразием биосферы и практической невозможностью оценить радиационное воздействие на каждый вид методика оценки радиационной безопасности окружающей среды разрабатывается для сравнительно небольшого числа представительных видов биоты [4]. Для выбора представительных организмов используются следующие основные критерии: экологические (положение в экосистеме), доступность для мониторинга, дозиметрические (учет критических путей облучения), радиочувствительность, способность к самовосстановлению. Результаты оценок для представительных организмов являются основой для анализа экологического риска и регулирования радиационной безопасности окружающей среды в целом.

В Публикации МКРЗ № 108 [4] сформулированы основные принципы радиационной защиты биоты, включающие выбор представительных организмов, расчет дозы, поэтапное рассмотрение радиоэкологической ситуации, оценки пороговых уровней возникновения ради-

ационных эффектов для организмов. При этом оценки действия ионизирующего излучения для флоры и фауны должны быть интегрированы в общую систему радиационной безопасности человека и окружающей среды. МКРЗ сформулировала важный принцип ступенчатого поэтапного подхода к анализу радиоэкологической ситуации: на первом этапе проводится предварительный анализ на основе стандартной процедуры, не требующей детального обследования, выявляются ситуации, не требующие дальнейшего рассмотрения. Второй этап проводится только в случаях превышения контрольных уровней облучения, здесь детально анализируется радиоактивное загрязнение экосистем.

Один из первых критериев оценки радиационного воздействия на биоту был предложен в работе [5]: мощность дозы хронического облучения водной биоты не должна превышать 10 мГр/сут. В дальнейшем в качестве безопасного (порогового) уровня радиационного воздействия на биоту предлагалось использовать мощность дозы в диапазоне 1—10 мГр/сут [6, 7]. Для предварительных оценок безопасности биоты предложено использовать мощность дозы хронического облучения 10^{-5} Гр/ч, или 0,24 мГр/сут [8].

Выбор конкретных видов представительных организмов определяется по результатам экологического обследования и ретроспективного анализа экологической обстановки в районе расположения объекта использования атомной энергии. В выбранных видах организмов оценивается содержание радионуклидов на основе данных мониторинга и радиоэкологического моделирования. Затем выполняются модельные оценки дозы внутреннего и внешнего облучения представительных организмов биоты.

Оценка дозы облучения биоты. Метод расчета дозы облучения биоты и рекомендуемые параметры представлены в работах [7—9].

Вклад i -го радионуклида в мощность дозы облучения j -го объекта биоты складывается из дозы внутреннего облучения от радионуклида, инкорпорированного в ткани организма $D_{i,j}^{\text{внутр}}$, и внешнего $D_{i,j}^{\text{внеш}}$ от радионуклидов, содержащихся в компонентах природной среды:

$$D_{i,j} = D_{i,j}^{\text{внутр}} + D_{i,j}^{\text{внеш}}.$$

Мощность дозы внутреннего облучения j -го объекта биоты от инкорпорированного i -го радионуклида рассчитывается по формуле

$$D_{i,j}^{\text{внутр}} = DCF_{i,j}^{\text{внутр}} C_{i,j},$$

где $DCF_{i,j}^{\text{внутр}}$ — фактор дозовой конверсии для внутреннего облучения j -го объекта биоты от i -го радионуклида, 10^{-6} Гр/ч/(Бк/кг сырой массы); $C_{i,j}$ — удельная активность i -го радионуклида в организме j -го объекта биоты, Бк/кг сырой массы.

Мощность дозы внешнего облучения j -го объекта биоты от i -го радионуклида, содержащегося внутри k -го компонента природной среды (почва, воздух, вода, донные отложения и др.), рассчитывается по формуле

$$D_{i,j,k}^{\text{внеш}} = DCF_{i,j,k}^{\text{внеш}} C_{i,k} \alpha_{j,k},$$

где $DCF_{i,j,k}^{\text{внеш}}$ — фактор дозовой конверсии для внешнего облучения j -го объекта биоты от i -го радионуклида, 10^{-6} Гр/ч/(Бк/кг); $C_{i,k}$ — удельная активность i -го радионуклида в k -м компоненте природной среды, Бк/кг; $\alpha_{j,k}$ — доля времени, которую j -й организм проводит в контакте с k -м компонентом природной среды. В дозу внешнего облучения наземных организмов основной вклад вносит почва, водных организмов — донные отложения и вода.

Доза внешнего облучения j -го объекта наземной биоты, находящегося на поверхности земли, от i -го радионуклида в почве оценивается при консервативном приближении полубесконечной геометрии источника по формуле

$$D_{i,j}^{\text{внеш}} = 0,5 DCF_{i,j}^{\text{внеш}} C_i^{\text{почва}} \alpha_j^{\text{поверх}},$$

где $\alpha_j^{\text{поверх}}$ — доля времени, которую j -й организм проводит на поверхности загрязненной почвы.

По аналогичной формуле оценивается доза облучения придонных организмов, обитающих на поверхности дна водоемов:

$$D_{i,j}^{\text{внеш,дон}} = 0,5 DCF_{i,j}^{\text{внеш}} C_i^{\text{дон}} \alpha_j^{\text{дон}},$$

где $C_i^{\text{дон}}$ — удельная активность i -го радионуклида в донных отложениях, Бк/кг сырой массы; $\alpha_j^{\text{дон}}$ — доля времени, которую j -й организм проводит вблизи дна при хроническом облучении в течение года.

Оценка экологического риска. Для анализа радиоэкологической безопасности используется оценка экологического риска

$$R_j = \frac{D_j}{SD},$$

где D_j — мощность дозы облучения j -го представительного объекта биоты, Гр/ч; SD — контрольный уровень экологически безопасного облучения организмов биоты, Гр/ч. В качестве контрольного уровня при предварительном анализе используется мощность дозы $SD = 10^{-5}$ Гр/ч [8].

Пример оценки радиационного воздействия на биоту выбросов АЭС. На основе допустимых и фактических выбросов бельгийскими АЭС ^3H , ^{14}C , ^{90}Sr , ^{60}Co , ^{131}I , ^{133}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{41}Ar , ^{85}Kr , ^{88}Kr , ^{133}Xe , ^{135}Xe в работе [10] рассчитана удельная активность радионуклидов в воздухе, атмосферных выпадениях, почве, воде и донных отложениях и определена доза облучения представительных объектов биоты в зоне прогнозируемых максимальных атмосферных выпадений (табл. 1). Согласно расчетным оценкам мощность дозы облучения объектов наземной и водной биоты от фактических выбросов АЭС не превышает $3 \cdot 10^{-10}$ Гр/ч, соответствующий ей экологический риск — $3 \cdot 10^{-5}$, т.е. выбросы АЭС не оказывают в штатных условиях значимого воздействия на биоту. Из рассмотренных радионуклидов наибольший вклад в дозу облучения объектов наземной биоты вносят ^3H и ^{14}C , водной биоты — ^3H , ^{14}C и ^{137}Cs . Доза облучения птиц от сбросов радионуклидов в водоемы составляет $(1-2,8)10^{-9}$ Гр/ч, моллюсков и водорослей — 10^{-8} Гр/ч, рыб — $(0,15-1,4)10^{-8}$ Гр/ч [10]. Соответствующий экологический риск для водных организмов не превышает $2 \cdot 10^{-3}$ от экологически безопасного уровня хронического облучения.

Т а б л и ц а 1. Оценки дозы облучения биоты от выбросов бельгийских АЭС [10]

Биота	Мощность дозы, 10^{-6} Гр/ч	Основные дозообразующие радионуклиды
Наземная:		
птицы	$2,1 \cdot 10^{-5}—5,7 \cdot 10^{-5}$	^3H , ^{14}C
беспозвоночные	$2,1 \cdot 10^{-5}—3,0 \cdot 10^{-5}$	То же
почвы		
травянистые растения	$2,1 \cdot 10^{-5}—3,2 \cdot 10^{-5}$	»
деревья	$2,1 \cdot 10^{-5}—3,3 \cdot 10^{-5}$	»
млекопитающие	$2,1 \cdot 10^{-5}—5,8 \cdot 10^{-5}$	»
Водная:		
водоплавающие птицы	$8,8 \cdot 10^{-6}—2,1 \cdot 10^{-4}$	^3H , ^{14}C , ^{137}Cs
моллюски	$5,0 \cdot 10^{-5}—2,6 \cdot 10^{-4}$	То же
водоросли	$2,1 \cdot 10^{-5}—1,9 \cdot 10^{-4}$	»
рыба	$9,0 \cdot 10^{-6}—2,0 \cdot 10^{-4}$	»

Оценка дозы на биоту от сбросов Ленинградской АЭС. В качестве исходных для оценки дозы на биоту Копорской губы Финского залива, являющейся водоемом-охладителем Ленинградской АЭС, использовали данные о допустимых сбросах 17 радионуклидов, содержания техногенных радионуклидов в морской воде, а также коэффициенты распределения в системе вода—донные отложения и накопления радионуклидов в рыбе (табл. 2) [11—13]. В качестве представительных объектов биоты были выбраны морские птицы, моллюски, водоросли и рыба (табл. 3, 4).

Мощность дозы облучения пелагических видов рыб водоема-охладителя Ленинградской АЭС от допустимых сбросов отдельных радионуклидов составляет $8,1 \cdot 10^{-10}—2,5 \cdot 10^{-8}$ Гр/ч, придонных рыб — $1,8 \cdot 10^{-9}—1,2 \cdot 10^{-7}$ Гр/ч

Т а б л и ц а 2. Исходные данные для оценки дозы облучения биоты водоема-охладителя Ленинградской АЭС от сбросов радионуклидов

Радионуклид	Допустимый сброс, Бк/год	Удельная активность в воде, Бк/м ³		Коэффициент, м ³ /кг	
		расчетная	данные мониторинга	распределения в системе вода—донные отложения	накопления в рыбе
^3H	$3,3 \cdot 10^{14}$	$3,0 \cdot 10^6$	$8,6 \cdot 10^3$	0,001	0,001
^{51}Cr	$1,4 \cdot 10^{12}$	$1,2 \cdot 10^4$	—	0,2	0,2
^{54}Mn	$4,3 \cdot 10^{10}$	$3,9 \cdot 10^2$	—	0,2	0,4
^{59}Fe	$2,5 \cdot 10^9$	$2,2 \cdot 10^1$	—	0,2	3
^{58}Co	$1,8 \cdot 10^{10}$	$1,6 \cdot 10^2$	—	0,4	1
^{60}Co	$3,9 \cdot 10^9$	$3,4 \cdot 10^1$	—	0,4	1
^{65}Zn	$3,5 \cdot 10^9$	$3,1 \cdot 10^1$	—	0,2	1
^{89}Sr	$1,1 \cdot 10^{11}$	$9,8 \cdot 10^2$	—	0,015	0,05
^{90}Sr	$9,9 \cdot 10^9$	$8,9 \cdot 10^1$	$2,7 \cdot 10^1$	0,015	0,05
^{95}Zr	$2,4 \cdot 10^{10}$	$1,9 \cdot 10^2$	—	0,6	0,2
^{103}Ru	$5,2 \cdot 10^{11}$	$4,6 \cdot 10^3$	—	0,2	0,005
^{106}Ru	$3,1 \cdot 10^{11}$	$2,8 \cdot 10^3$	—	0,2	0,005
^{131}I	$6,3 \cdot 10^{10}$	$5,4 \cdot 10^2$	—	0,05	0,01
^{134}Cs	$7,3 \cdot 10^8$	$6,5 \cdot 10^0$	—	0,5	1
^{137}Cs	$1,1 \cdot 10^9$	$9,9 \cdot 10^0$	50*	0,5	1
^{141}Ce	$2,1 \cdot 10^{11}$	$1,6 \cdot 10^3$	—	0,5	0,05
^{144}Ce	$5,2 \cdot 10^{10}$	$4,5 \cdot 10^2$	—	0,5	0,05

Примечание. * ^{137}Cs преимущественно вследствие аварии на Чернобыльской АЭС [13]. Прочерк означает, что удельная активность радионуклида в воде ниже минимально детектируемой активности 1—10 Бк/м³.

Т а б л и ц а 3. Оценки мощности дозы облучения биоты от допустимых сбросов Ленинградской АЭС, 10^{-6} Гр/ч

Радионуклид	Птицы	Моллюски	Водоросли	Рыба	
				придонная (бентофаг)	пелагическая (планктофаг)
^3H	$2,4 \cdot 10^{-2}$	$2,2 \cdot 10^{-2}$	$2,4 \cdot 10^{-2}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$
^{51}Cr	$7,7 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-1}$	$2,4 \cdot 10^{-1}$	$2,7 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$
^{54}Mn	$1,3 \cdot 10^{-1}$	$1,3 \cdot 10^{-1}$	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$	$8,9 \cdot 10^{-3}$
^{59}Fe	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-1}$	$6,3 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$
^{58}Co	$8,3 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-2}$	$2,9 \cdot 10^{-2}$	$2,8 \cdot 10^{-2}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$
^{60}Co	$4,1 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$6,5 \cdot 10^{-3}$
^{65}Zn	$4,1 \cdot 10^{-3}$	$4,1 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$
^{89}Sr	$4,3 \cdot 10^{-4}$	$9,6 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$
^{90}Sr	$7,5 \cdot 10^{-5}$	$6,1 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$
^{95}Zr	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$	$4,6 \cdot 10^{-2}$	$2,6 \cdot 10^{-2}$	$4,3 \cdot 10^{-3}$
^{103}Ru	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$7,0 \cdot 10^{-1}$	$5,0 \cdot 10^{-1}$	$1,2 \cdot 10^{-1}$	$3,4 \cdot 10^{-3}$
^{106}Ru	$6,5 \cdot 10^{-2}$	$3,1 \cdot 10^0$	$1,6 \cdot 10^0$	$7,2 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$
^{131}I	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$3,8 \cdot 10^{-3}$	$2,6 \cdot 10^{-1}$	$3,5 \cdot 10^{-3}$	$8,1 \cdot 10^{-4}$
^{134}Cs	$5,9 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$
^{137}Cs	$7,7 \cdot 10^{-4}$	$8,9 \cdot 10^{-4}$	$9,6 \cdot 10^{-4}$	$2,4 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$
^{141}Ce	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$3,3 \cdot 10^{-1}$	$3,1 \cdot 10^{-1}$	$2,4 \cdot 10^{-2}$	$8,2 \cdot 10^{-3}$
^{144}Ce	$3,5 \cdot 10^{-2}$	$5,6 \cdot 10^{-1}$	$4,3 \cdot 10^{-1}$	$2,8 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$

Т а б л и ц а 4. Оценки мощности дозы облучения биоты водоема-охладителя Ленинградской АЭС на основе данных радиационного мониторинга, 10^{-6} Гр/ч

Радионуклид	Птицы	Моллюски	Водоросли	Рыба	
				придонная (бентофаг)	пелагическая (планктофаг)
^3H	$6,8 \cdot 10^{-5}$	$6,4 \cdot 10^{-5}$	$6,8 \cdot 10^{-5}$	$7,1 \cdot 10^{-5}$	$7,1 \cdot 10^{-5}$
^{51}Cr	$6,4 \cdot 10^{-7}$	$8,8 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$2,2 \cdot 10^{-6}$	$1,3 \cdot 10^{-6}$
^{54}Mn	$3,4 \cdot 10^{-4}$	$3,4 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$6,4 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$
^{59}Fe	$9,1 \cdot 10^{-4}$	$9,2 \cdot 10^{-3}$	$9,8 \cdot 10^{-4}$	$4,9 \cdot 10^{-4}$	$4,7 \cdot 10^{-4}$
^{58}Co	$5,2 \cdot 10^{-5}$	$3,1 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$8,3 \cdot 10^{-5}$
^{60}Co	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$7,3 \cdot 10^{-4}$	$4,3 \cdot 10^{-4}$	$4,3 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$
^{65}Zn	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$5,1 \cdot 10^{-5}$	$5,7 \cdot 10^{-5}$	$4,3 \cdot 10^{-5}$
^{89}Sr	$4,4 \cdot 10^{-7}$	$3,7 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$
^{90}Sr	$2,3 \cdot 10^{-5}$	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$5,1 \cdot 10^{-4}$	$8,2 \cdot 10^{-4}$	$8,4 \cdot 10^{-4}$
^{95}Zr	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$5,3 \cdot 10^{-4}$	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$2,2 \cdot 10^{-5}$
^{103}Ru	$3,6 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-5}$	$7,3 \cdot 10^{-7}$
^{106}Ru	$2,3 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$5,7 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-5}$	$4,0 \cdot 10^{-6}$
^{131}I	$2,9 \cdot 10^{-7}$	$7,0 \cdot 10^{-6}$	$4,8 \cdot 10^{-4}$	$6,4 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$
^{134}Cs	$9,0 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$3,8 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$
^{137}Cs	$3,9 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$	$4,8 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$9,0 \cdot 10^{-3}$
^{141}Ce	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$5,1 \cdot 10^{-6}$
^{144}Ce	$7,8 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$9,5 \cdot 10^{-4}$	$6,1 \cdot 10^{-5}$	$3,6 \cdot 10^{-5}$
Сумма	$5,8 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$

(см. табл. 3), водоплавающих птиц — $5,9 \cdot 10^{-10}$ — $1,3 \cdot 10^{-7}$ Гр/ч, моллюсков — $8,9 \cdot 10^{-10}$ — $3,1 \cdot 10^{-6}$ Гр/ч, водных растений — $9,6 \cdot 10^{-10}$ — $1,6 \cdot 10^{-6}$ Гр/ч. Расчеты показали, что наибольшую дозу облучения от допустимых сбросов ^3H , ^{134}Cs , ^{137}Cs получит придонная рыба, от сбросов ^{131}I — водные растения, сбросов остальных радионуклидов — моллюски.

Суммарная мощность дозы облучения пелагических видов рыб водоема-охладителя Ленинградской АЭС, рассчитанная на основе данных радиационного мониторинга, составляет $1,1 \cdot 10^{-8}$ Гр/ч, придонных рыб — $1,5 \cdot 10^{-8}$ Гр/ч. Основной вклад вносит ^{137}Cs (около 80%), что обусловлено преимущественно загрязнением им экосистемы Балтийского моря после аварии на Чернобыльской АЭС. Суммарная мощность дозы облучения моллюсков водоема-охладителя Ленинградской АЭС составляет $2,2 \cdot 10^{-8}$ Гр/ч, водных растений — $1 \cdot 10^{-8}$ Гр/ч, водоплавающих птиц — $5,8 \cdot 10^{-9}$ Гр/ч. Как и для рыб, основной вклад в мощность дозы облучения морских птиц вносит ^{137}Cs (около 70%). Для водных растений заметный вклад в дозу облучения, кроме ^{137}Cs , могут вносить ^{59}Fe и ^{131}I , для которых характерны высокие коэффициенты накопления в водорослях. Для моллюсков мощность дозы внутреннего облучения обусловлена преимущественно ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{59}Fe , ^{65}Zn , внешнего — ^{106}Ru , ^{144}Ce , ^{60}Co . Экологический риск для организмов Копорской губы не превышает $3 \cdot 10^{-3}$, что согласуется с оценками для водной биоты в районах расположения бельгийских АЭС [10].

Следует отметить, что оценки мощности дозы облучения организмов водоема-охладителя Ленинградской АЭС являются консервативными. Поступление радионуклидов в Копорскую губу от сбросов АЭС в штатных условиях эксплуатации возможно только с дебалансными водами [11]. В 2011 г. активность радионуклидов в дебалансных водах была ниже минимально детектируемой, в 2010 г. из 17 рассмотренных радионуклидов в сбросах АЭС обнаружены только ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{58}Co , ^{54}Mn , ^{51}Cr . При этом фактические сбросы не превышали $8 \cdot 10^{-4}$ до-

пустимых. По данным мониторинга в водах Копорской губы в настоящее время регистрируются только ^{137}Cs , ^{90}Sr и ^3H . Содержание остальных техногенных радионуклидов в воде ниже уровня минимально детектируемой активности, которую использовали в расчетах дозы при отсутствии данных мониторинга. Это приводит к некоторому завышению оценок дозы облучения биоты.

В целом можно сделать вывод, что облучение биоты в водоеме-охладителе Ленинградской АЭС в штатных условиях эксплуатации не превышает уровня приемлемого экологического риска и удовлетворяет критерию сохранения благоприятной окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Radiation** Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. Safety Standards Series № GSR. 3. Vienna: IAEA, 2011.
2. **Proposal** for a Council Directive Laying Down the Basic Safety Standards for Protection Against the Dangers Arising from Exposure to Ionising Radiation. Brussels, 2012.
3. **Методика** разработки и установления нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух. М., Ростехнадзор, 2012.
4. **Environmental** Protection: the Concept and Use of Reference Animals and Plants. Publication 108. Annals of the ICRP, 2009.
5. **Effects** of Ionizing Radiation on Aquatic Organisms. NCRP Report № 109. Maryland, 1991.
6. **A Graded** Approach for Evaluating Radiation Doses to Aquatic and Terrestrial Biota. DOE-STD-1153-2002. Washington, 2002.
7. **Effects** of Radiation on the Environment. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. V. II. Scientific Annex E. Effect of Ionizing Radiation on Non-Human Biota. New York, 2011.
8. **D-ERICA**: an Integrated Approach to the Assessment and Management of Environmental Risks from Ionizing Radiation: Description of Purpose, Methodology and Application. European Commission, 2007.
9. **Ulanovsky A., Pröhl G.** Tables of dose conversion coefficients for estimating internal and external radiation exposures to terrestrial and aquatic biota. — Rad. Environmental Biophys., 2008, v. 47, № 2, p. 195—203.
10. **Evaluation** of the Environmental Risk Associated with the Radiological Atmospheric Discharges from the Belgian Nuclear Power Plants. External Report SCK-CEN-ER-169. Mol, 2011.