

УДК 504.75:504.03

## ОЦЕНКА ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО УЩЕРБА ОТ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

© 2021 г. И. И. Крышев<sup>1</sup>, А. А. Бурякова<sup>1,\*</sup>, Т. Г. Сазыкина<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Научно-производственное объединение “Тайфун” (НПО “Тайфун”), Обнинск, Россия

\*E-mail: buryakova@rpatyphoon.ru

Поступила в редакцию 23.01.2020 г.

После доработки 15.07.2020 г.

Принята к публикации 11.11.2020 г.

Представлено описание методологии оценки эколого-экономического ущерба от радиоактивного загрязнения окружающей среды, под которым понимается оцененная в денежном эквиваленте величина ущерба за счет нанесения вреда объектам живой природы вследствие радиационного воздействия. Оценка эколого-экономического ущерба проводится на основе расчета мощности дозы облучения референтных организмов живой природы на территории воздействия объекта использования атомной энергии и сравнения полученных значений с критериями радиэкологической безопасности, обеспечивающими сохранение благоприятной окружающей среды. При превышении этих критериев организмы биоты консервативно признаются “уничтоженными” по результатам вычислений мощности дозы облучения, с учетом площади участка и данных по средней численности. Определение совокупного размера возможного вреда окружающей среде выполняется в соответствии с нормативно-методическими документами в области охраны окружающей среды с использованием установленных такс и нормативов за ущерб, причиненный уничтожением объектов животного и растительного мира. На основе оценки мощности дозы облучения референтных организмов биоты показано, что для большинства объектов использования атомной энергии не превышаются критерии радиэкологической безопасности, что свидетельствует об отсутствии значимого эколого-экономического ущерба. Представлен пример оценки эколого-экономического ущерба от радиационного воздействия на организмы вблизи хранилища радиоактивных отходов – водоема Карачай, обусловленного прошлой деятельностью ПО “Маяк”.

**Ключевые слова:** эколого-экономический ущерб, окружающая среда, биота, референтные организмы, дозы облучения, критерии радиэкологической безопасности, объекты использования атомной энергии, Карачай

DOI: 10.31857/S0869803121010070

Специфическим фактором экологического риска при использовании ядерных технологий является дополнительное облучение организмов, обусловленное радиоактивным загрязнением окружающей среды в современных условиях эксплуатации объектов использования атомной энергии (ОИАЭ), а также в результате их прошлой деятельности. Предметом настоящей статьи являются разработка и апробация методологии оценки эколого-экономического ущерба от воздействия ионизирующего излучения на объекты живой природы, основанной на существующих нормативных и научно-методических документах в области охраны окружающей среды и радиэкологии.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Под эколого-экономическим ущербом от радиоактивного загрязнения окружающей среды понимается оцененная в денежном эквиваленте

величина ущерба за счет нанесения вреда объектам живой природы вследствие радиационного воздействия.

Оценка проводится на основе расчета мощности дозы облучения референтных организмов на территории радиационного воздействия и сравнения полученных значений с критериями обеспечения радиэкологической безопасности [1]. В качестве консервативного критерия экологически безопасного уровня облучения в соответствии с рекомендациями МКРЗ принимается значение БУОБ<sub>1</sub> = 0.001 Гр/сут для млекопитающих, позвоночных животных и сосны, и БУОБ<sub>2</sub> = 0.01 Гр/сут для организмов растительного мира (кроме сосны) и беспозвоночных животных [2, 3]. Непревышение этих уровней позволяет утверждать об отсутствии возможного радиационного вреда биоте. В целях не допустить занижения оценки вреда в случае превышения этих уровней

консервативно предполагается гибель объектов живой природы, т.е. возможный ущерб от радиационного воздействия консервативно оценивается как уже состоявшийся. Расчет эколого-экономического ущерба от потенциальной гибели объектов живой природы производится в соответствии с законодательством об охране окружающей среды и установленными в нормативных документах расценками [4–11].

В качестве референтных объектов в соответствии с рекомендациями [2, 3] определены следующие наземные и водные организмы: трава, сосна, мышь, олень/косуля, улитка, змея, дождевой червь, водные растения, моллюски, рыба пелагическая и придонная, утка, пчела.

Оценка эколого-экономического ущерба включает в себя следующие этапы.

1. На основе данных мониторинга радиационной обстановки и радиоэкологического обследования формируется таблица с данными по содержанию радионуклидов в почве в районе расположения ОИАЭ или на отдельных участках с различными уровнями радиоактивного загрязнения. В случае если в зону радиационного влияния попадают водоемы, для них также отдельно заполняется таблица, содержащая сведения об удельной активности радионуклидов в воде и донных отложениях.

2. Выполняются расчеты мощности дозы облучения организмов биоты в соответствии с моделями, представленными в [2, 3, 12], адаптированными к местным условиям.

Суммарная мощность дозы облучения референтного объекта определяется путем суммирования мощностей дозы облучения этого объекта от всех рассматриваемых радионуклидов. Полный вклад радионуклида в мощность дозы облучения референтного организма, обитающего на рассматриваемой территории, складывается из мощности дозы внутреннего облучения от радионуклида, инкорпорированного в ткани и органы организма, мощности дозы внешнего облучения от радионуклидов, содержащихся в почве и атмосферном воздухе.

В расчетах используются факторы дозовой конверсии для внутреннего и внешнего облучения объекта биоты от радионуклидов, характерных для рассматриваемой территории, факторы накопления радионуклидов в референтном организме. Рекомендуемые значения данных параметров для различных радионуклидов и референтных объектов водной и наземной биоты приведены в [2, 12–14].

3. Проводится оценка численности объектов живой природы, соответствующих референтным организмам, консервативно признанным “уничтоженными” по результатам предшествующих оценок мощности дозы облучения, с учетом пло-

щади участка радиационного воздействия и на основе данных по средней численности, приведенных в [14]. При наличии местной экологической информации данные по средней численности должны быть скорректированы по условиям местонахождения ОИАЭ. Для беспозвоночных животных (улитка, дождевой червь, моллюски, пчела) численность не рассчитывается, поскольку соответствующие таксы определены на 1 м<sup>2</sup> площади.

4. Проводится оценка денежного эквивалента совокупного размера возможного эколого-экономического ущерба в соответствии с нормативно-методическими документами в области охраны окружающей среды [4–11]. Для оценки эколого-экономического ущерба рекомендуется использовать таксы/нормативы за ущерб, причиненный уничтожением объектов животного и растительного мира, а также таксы/нормативы, утвержденные в соответствии с порядком, установленным законодательством Российской Федерации.

При уничтожении объектов животного мира вследствие потенциального воздействия ОИАЭ исчисление размера вреда производится в соответствии с методикой [4]. Под воздействием в данной методике понимаются любые формы антропогенных воздействий, в том числе хозяйственной и иной деятельности, на объекты животного мира и/или их среду обитания. Для исчисления ущерба рекомендуется использовать установленные показатели стоимости объектов животного мира – таксы для исчисления размера взыскания за ущерб, причиненный незаконным добыванием или уничтожением объектов животного и растительного мира.

Оценка размера ущерба от вреда, причиненного объектам растительного мира, занесенным в Красную книгу Российской Федерации, осуществляется в соответствии с таксами, утвержденными Приказом Минприроды России от 1 августа 2011 г. № 658 [10].

Размер экономического ущерба от вреда, причиненного лесам, определяется в соответствии с “Особенностями возмещения вреда, причиненного лесам и находящимся в них природным объектам вследствие нарушения лесного законодательства”, утвержденными постановлением Правительства Российской Федерации от 29.12.2018 № 1730 [8]. Размер ущерба исчисляется путем суммирования размеров экономического ущерба от вреда объектам растительного мира, для которых были превышены безопасные уровни облучения 0.01 Гр/сут. Для сосны как для наиболее радиочувствительного вида растительного мира в качестве экологически безопасного уровня облучения используется значение мощности дозы – 0.001 Гр/сут [2, 3].

Исчисление размера экономического ущерба от вреда, причиненного водным биологическим ресурсам, проводится по методике [6], а также согласно соответствующим таксам [9].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Представленная выше методология оценки эколого-экономического ущерба от радиоактивного загрязнения окружающей среды апробирована для территории, примыкающей к промышленному водоему В-9 (Карачай). Этот водоем расположен в южной части территории промышленной площадки ФГУП “ПО “Маяк”. В естественном состоянии представлял собой мелководный заболоченный водоем средней глубиной 0.8–0.9 м и площадью 0.26–0.28 км<sup>2</sup> [15]. С 1951 г. водоем В-9 является хранилищем жидких среднеактивных отходов радиохимического производства. Использование водоема в качестве хранилища РАО привело к накоплению в нем  $4.5 \times 10^{18}$  Бк активности долгоживущих радионуклидов. В результате инфильтрации радионуклидов из донных отложений под озером сформировалась линза загрязненных подземных вод.

Весной 1967 г. произошло радиоактивное загрязнение территории, примыкающей к площадке ПО “Маяк” вследствие ветрового переноса загрязненных донных отложений с оголившихся берегов водоема Карачай. С целью предотвращения ветрового выноса радионуклидов с поверхности водоема были выполнены масштабные работы по засыпке водоема В-9. В конце ноября 2015 г. была завершена ликвидация акватории водоема Карачай путем засыпки скальным грунтом [16].

Высокие уровни загрязнения водоема привели к значительным дозам облучения водных организмов. Например, для рыб согласно расчетным оценкам мощности дозы превышали 20 Гр/сут и, вероятно, привели к их гибели уже на раннем этапе сброса радиоактивных отходов в водоем [17]. В 2010 г. расчетная мощность дозы для фитопланктона оценивается в 130 Гр/сут, зоопланктона – 4 Гр/сут [18], что в 400–13000 раз выше БУОБ.

В связи с засыпкой акватории водоема В-9 оценка эколого-экономического ущерба проводилась для организмов наземной биоты. В качестве исходных данных использовали данные радиационного мониторинга за содержанием радионуклидов в почве в районе расположения водоема Карачай в период его засыпки [15] (табл. 1). Расчетную оценку содержания радионуклидов в приземном воздухе проводили на основе данных о содержании радионуклидов в почве с использованием коэффициентов ресуспензии, рассчитанных для СЗЗ ПО “Маяк” по данным [19].

Численные значения факторов дозовой конверсии для внутреннего и внешнего облучения,

**Таблица 1.** Содержание радионуклидов в почве в районе расположения водоема Карачай, кБк/кг воздушно-сухой массы [15]

**Table 1.** Radioactive contamination of soils near the Lake Karachay, kBq/kg of air-dry mass

Участок	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	Pu
Отсыпанная акватория водоема			
1	0.7 ± 0.3	4.3 ± 2.0	0.07 ± 0.03
2	40 ± 10	160 ± 10	0.15 ± 0.05
3	10000	750	0.2
4	140	360	2.5
Диапазон изменений	0.4–10000	2.3–750	0.04–2.5
Прибрежная территория			
5	3200 ± 2800	1700 ± 1300	4.9 ± 2.5
6	1200 ± 400	1700 ± 1300	4.9 ± 2.4
7	5.5 ± 0.5	20 ± 5	0.25 ± 0.05
8	1750 ± 250	2750 ± 250	6 ± 2
9	22 ± 15	45 ± 25	0.15 ± 0.05
10	90 ± 40	130 ± 30	0.4 ± 0.1
11	80	20	0.2
12	130	10	0.3
13	1.9 ± 1.4	2.9 ± 1.3	0.15 ± 0.05
14	75 ± 25	825 ± 75	1.0 ± 0.7
15	330 ± 270	600 ± 250	0.9 ± 0.6
16	300	1400	3.6
17	200 ± 100	535 ± 85	0.75 ± 0.25
Диапазон изменений	0.5–6000	1.6–3000	0.1–8.0

используемые для оценки дозовой нагрузки на рассматриваемые референтные организмы биоты, представлены в табл. 2 [2, 12].

Величины коэффициентов перехода радионуклидов из почвы в референтные организмы приведены в табл. 3 [2, 14, 15].

Основной вклад в мощность дозы облучения референтных организмов в районе расположения водоема Карачай вносят <sup>90</sup>Sr и <sup>137</sup>Cs, вклад изотопов плутония менее значителен (табл. 4).

Для большинства референтных организмов преобладающим является внутреннее облучение, которое составляет: для мыши – 80–94%, для утки – 56–86%, для лягушки – 46–88%, для змеи и ужа – 91–99%, для травы – 49–73%, для дерева/сосны – 44–86%. Преобладание вклада внешнего облучения от почвы характерно для следую-

**Таблица 2.** Факторы дозовой конверсии для оценки мощности дозы облучения референтных организмов в районе расположения водоема Карачай

**Table 2.** Dose conversion factors for reference organisms near the Lake Karachay

Референтные организмы	$^{90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$	Pu
Внутреннее облучение, (мкГр/ч)/(Бк/кг сырой массы)			
Дождевой червь	$5.2 \times 10^{-4}$	$1.4 \times 10^{-4}$	$3.0 \times 10^{-3}$
Мышь	$6.2 \times 10^{-4}$	$1.7 \times 10^{-4}$	$3.0 \times 10^{-3}$
Утка	$6.3 \times 10^{-4}$	$1.9 \times 10^{-4}$	$3.0 \times 10^{-3}$
Лягушка	$5.9 \times 10^{-4}$	$1.5 \times 10^{-4}$	$3.0 \times 10^{-3}$
Насекомое летающее	$4.3 \times 10^{-4}$	$1.3 \times 10^{-4}$	$3.0 \times 10^{-3}$
Змея/уж	$6.0 \times 10^{-4}$	$1.7 \times 10^{-4}$	$3.0 \times 10^{-3}$
Трава	$5.1 \times 10^{-4}$	$1.4 \times 10^{-4}$	$3.0 \times 10^{-3}$
Дерево/сосна	$6.5 \times 10^{-4}$	$3.2 \times 10^{-4}$	$3.0 \times 10^{-3}$
Внешнее облучение от почвы, (мкГр/ч)/(Бк/кг сырой массы)			
Дождевой червь	$3.9 \times 10^{-11}$	$1.4 \times 10^{-4}$	$6.0 \times 10^{-8}$
Мышь	$1.8 \times 10^{-11}$	$1.4 \times 10^{-4}$	$2.7 \times 10^{-8}$
Утка	$1.4 \times 10^{-11}$	$1.3 \times 10^{-4}$	$1.9 \times 10^{-8}$
Лягушка	$2.9 \times 10^{-11}$	$1.4 \times 10^{-4}$	$4.5 \times 10^{-8}$
Насекомое летающее	$3.5 \times 10^{-13}$	$1.4 \times 10^{-4}$	$7.5 \times 10^{-8}$
Змея/уж	$1.5 \times 10^{-11}$	$1.1 \times 10^{-4}$	$5.7 \times 10^{-8}$
Трава	$9.4 \times 10^{-11}$	$1.1 \times 10^{-4}$	$1.3 \times 10^{-7}$
Дерево/сосна	$8.5 \times 10^{-12}$	$9.0 \times 10^{-5}$	$1.2 \times 10^{-8}$
Внешнее облучение от облака, (мкГр/ч)/(Бк/м <sup>3</sup> )			
Дождевой червь	$1.5 \times 10^{-10}$	$1.6 \times 10^{-4}$	$2.2 \times 10^{-7}$
Мышь	$6.2 \times 10^{-11}$	$1.6 \times 10^{-4}$	$9.5 \times 10^{-8}$
Утка	$6.9 \times 10^{-11}$	$1.7 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-7}$
Лягушка	$1 \times 10^{-10}$	$1.6 \times 10^{-4}$	$1.6 \times 10^{-7}$
Насекомое летающее	$2.7 \times 10^{-10}$	$1.6 \times 10^{-4}$	$3.5 \times 10^{-7}$
Змея/уж	$6.9 \times 10^{-11}$	$1.7 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-7}$
Трава	$1.7 \times 10^{-10}$	$1.6 \times 10^{-4}$	$2.4 \times 10^{-7}$
Дерево/сосна	$2.7 \times 10^{-10}$	$1.6 \times 10^{-4}$	$2.4 \times 10^{-7}$

щих объектов биоты: дождевой червь (85–92%) и пчела (70–94%). Вклад внешнего облучения референтных организмов от облака в суммарную мощность дозы пренебрежимо мал по сравнению с дозой от почвы.

Частота превышения экологически безопасного уровня облучения (БУОБ) референтных организмов на рассмотренных площадках изменяется в пределах 9% (дождевой червь) – 88% (змея и уж) (табл. 5).

Расчет ущерба от радиационного воздействия осуществляется в случае превышения БУОБ. В ситуации, когда уровни БУОБ не превышаются, величина ущерба принимается равной нулю. Для организмов биоты, подвергшихся радиационному воздействию выше экологически безопасного уровня, при оценке ущерба делается консервативное предположение об уничтожении организмов в пределах участка повышенного радиоактивного загрязнения.

Рассмотрим оценку ущерба от радиационного воздействия на биоту, обитающую вблизи водоема Карачай на площади 1 га. Размер ущерба от вреда дождевым червям и другим беспозвоночным животным, причиненного радиоактивным загрязнением почвы (подстилки), определяется по формуле (1):

$$V_{\text{почв}} = Z_{\text{кр}}V + \text{НС}_{\text{пб}}SK_{\text{Ит}} + \text{НС}_{\text{иб}}SK_{\text{Ит}}, \quad (1)$$

где:  $Z_{\text{кр}}$  – затраты на выполнение комплекса работ, связанных с приобретением, транспортировкой и размещением растительного грунта, по замене загрязненной почвы (подстилки);  $Z_{\text{кр}} = 1000 \text{ руб./м}^3$  [5];  $V$  – объем загрязненной почвы (подстилки); с учетом результатов оценки, представленных в табл. 2, при глубине загрязнения 0.5 м;  $V = 10000 \text{ м}^2 \times 0.09 \times 0.5 \text{ м} = 450 \text{ м}^3$ ;  $\text{НС}_{\text{пб}}$  – норматив стоимости почвенных беспозвоночных животных, обитающих на 1 м<sup>2</sup> земельного участка;  $\text{НС}_{\text{пб}} = 143 \text{ руб./м}^2$  для зоны смешанных лесов [5];  $S$  – площадь земельного участка, на котором уничтожены почва, подстилка и иные местообитания беспозвоночных животных; с учетом результатов оценки, представленных в табл. 2,  $S = 10000 \text{ м}^2 \times 0.09 = 900 \text{ м}^2$ ;  $\text{НС}_{\text{иб}}$  – норматив стоимости объектов животного мира, относящихся к иным беспозвоночным животным (непочвенным), исключая беспозвоночных животных, занесенных в Красную книгу Российской Федерации,  $\text{НС}_{\text{иб}} = 50 \text{ руб./экз.}$  [5];  $K_{\text{Ит}}$  – показатель, учитывающий инфляцию, для оценки в текущем году  $K_{\text{Ит}} = 1$ .

Используя значения вышеперечисленных параметров для вычислений по формуле (1), получаем, что размер ущерба от вреда беспозвоночным животным, причиненного радиационным воздействием от загрязнения почвы (подстилки) и иных местообитаний, составляет 623700 руб.

**Таблица 3.** Коэффициенты перехода радионуклидов в референтные организмы, (Бк/кг сырой массы)/(Бк/кг сухой массы почвы)**Table 3.** Transfer coefficients of radionuclides from soil to reference organisms, (Bq/kg of raw mass)/(Bq/kg of soil)

Референтные организмы	$^{90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$	Pu
Дождевой червь	$9.0 \times 10^{-3}$	$8.9 \times 10^{-2}$	$2.9 \times 10^{-2}$
Мышь	1.7	2.9	$2.3 \times 10^{-2}$
Утка	$5.5 \times 10^{-1}$	$7.5 \times 10^{-1}$	$2.3 \times 10^{-2}$
Лягушка	$8.3 \times 10^{-1}$	$5.4 \times 10^{-1}$	$2.3 \times 10^{-2}$
Насекомое летающее	$6.3 \times 10^{-2}$	$5.5 \times 10^{-2}$	$1.7 \times 10^{-2}$
Змея/уж	$1.2 \times 10^1$	3.6	$2.3 \times 10^{-2}$
Трава	$2.1 \times 10^{-1}$	$6.9 \times 10^{-1}$	$1.4 \times 10^{-2}$
Дерево/сосна	$4.9 \times 10^{-1}$	$1.6 \times 10^{-1}$	$3.2 \times 10^{-2}$

Также, помимо референтных организмов биоты, расчеты выполнялись и для других организмов животного мира, для которых ожидается превышение БУОБ. Результаты расчетов ущерба от радиационного воздействия на организмы животного мира (кроме беспозвоночных почвы), выполненные по формуле (1), представлены в табл. 6.

Согласно расчетным оценкам размер ущерба от вреда, причиненного другим объектам животного мира (кроме беспозвоночных почвы), составляет 830250 руб. на 1 га загрязненной прибрежной территории.

Размер ущерба от вреда, причиненного лесам вследствие радиационного воздействия, определяется в соответствии с таксами [8] и составляет 3387780 руб. на 1 га загрязненной прибрежной территории.

Таким образом, консервативная оценка совокупного размера ущерба от радиационного воздействия на объекты биоты прибрежной территории водоема Карачай площадью 1 га до проведения работ по реабилитации загрязненной территории составляет:

623700 руб. + 830250 руб. + 3387780 руб. = 4841730 руб. (пять миллионов сто девяносто одна тысяча восемьсот десять рублей).

Ширина прибрежной территории водоема Карачай, на которой превышаются экологически безопасные уровни облучения организмов биоты, достигает 30–50 м [15]. Тогда площадь загрязнен-

**Таблица 4.** Оценка мощности дозы облучения референтных организмов биоты в районе расположения водоема Карачай от  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и Pu, мГр/сут**Table 4.** Assessment of the radiation dose rates for reference biota near the Lake Karachay from  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  and Pu,  $\mu\text{Gy/d}$ 

Референтные организмы	$^{90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$	Pu
Дождевой червь	0.0001–0.23	0.0009–24.4	0.0004–0.11
Мышь	0.03–50.6	0.004–101	0.0003–0.09
Утка	0.009–16.6	0.002–43.6	0.0003–0.09
Лягушка	0.01–23.5	0.001–35.4	0.0003–0.09
Насекомое летающее	0.0007–1.3	0.0009–23.5	0.0002–0.07
Змея/уж	0.2–346	0.005–116	0.0003–0.08
Трава	0.003–5.14	0.001–33.1	0.0002–0.05
Дерево/сосна	0.01–12.8	0.0009–22.6	0.0005–0.1

Примечание. Приведены минимальные и максимальные величины мощности дозы облучения объектов биоты.

ной территории составит 6–10 га, а величина ущерба от радиационного воздействия на объекты окружающей среды до реабилитации загряз-

**Таблица 5.** Обобщенные оценки мощности дозы облучения референтных организмов в районе расположения водоема Карачай**Table 5.** Total dose rates for reference organisms in the area of the Lake Karachay; comparison with derived consideration reference levels (DCRL)

Референтные организмы	Мощность дозы, мГр/сут	БУОБ, мГр/сут	Частота превышения БУОБ, %
Дождевой червь	0.002–24	10	9
Мышь	0.03–114	1	80
Утка	0.01–48	1	59
Лягушка	0.02–45	1	62
Насекомое летающее	0.002–24	10	9
Змея/уж	0.2–415	1	88
Трава	0.005–34	10	15
Дерево/сосна	0.01–26	1	59

**Таблица 6.** Оценка ущерба от радиационного воздействия на организмы животного мира, не относящиеся к беспозвоночным видам на прибрежной территории водоема Карачай площадью 1 га**Table 6.** Estimation of damage to the environment in monetary terms from radiation exposure to terrestrial species in the coastal 1 ha area near the Lake Karachay

Животные организмы	Численность, экз.	Норматив стоимости, руб./экз.	Частота превышения порогового уровня облучения	Размер ущерба, руб.
Млекопитающие				
Семейство мышиные	2000	100	0.80	160000
Семейство ежовые	50	1000	0.80	40000
Семейство кротовые	100	100	0.80	8000
Птицы				
Утки	20	3000	0.59	35400
Отряд Воробьинообразные	500	1000	0.59	295000
Отряд Дятлообразные	10	3500	0.59	20650
Земноводные				
Лягушка	100	100	0.62	6200
Пресмыкающиеся				
Ящерицы	200	500	0.88	88000
Змеи	50	3000	0.88	132000
Насекомые летающие	10000*	50**	0.09	45000
Итого:				830250

Примечание. \* м<sup>2</sup>; \*\* руб/м<sup>2</sup>.**Таблица 7.** Сравнительные оценки мощности дозы облучения наземной биоты от радиоактивного загрязнения окружающей среды (2011–2018 гг.), мГр/сут**Table 7.** Comparison of radiation doses to terrestrial biota in the areas of nuclear power facilities, Russia (2011–2018), µGy/d

Объект использования атомной энергии	Водная биота	Наземная биота	БУОБ
Белоярская АЭС	0.02–0.2	$6 \times 10^{-4}$ – $1 \times 10^{-2}$	1–10
Ленинградская АЭС	$1.7 \times 10^{-4}$ – $1.8 \times 10^{-4}$	$8 \times 10^{-6}$ – $4 \times 10^{-4}$	
Нововоронежская АЭС	$1.6 \times 10^{-4}$ – $1.7 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-7}$ – $5 \times 10^{-3}$	
ПО “Маяк” ВУРС	0.2–0.7	0.001–1	
Горно-химический комбинат	$6.7 \times 10^{-4}$ – $1.7 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-5}$ – $5 \times 10^{-4}$	
Приаргунское ПГХО	0.01–0.23	$4 \times 10^{-3}$ – $5 \times 10^{-2}$	

ненной территории оценивается в 29–48 млн рублей. Представленный пример является достаточно условным, его следует рассматривать в основном в качестве иллюстрации предлагаемой методики в качестве приближенной скрининговой оценки эколого-экономического ущерба.

Из представленных в табл. 7 данных [20, 21] следует, что для большинства объектов использования атомной энергии мощность дозы облучения наземной биоты на несколько порядков ниже

экологически безопасных уровней облучений организмов. Как упоминалось ранее, непревышение уровней БУОБ свидетельствует об отсутствии возможного радиационного вреда объектам биоты и не требует проведения оценки возможного вреда окружающей среде.

Особым исключением среди всех объектов является ПО “Маяк”, где достигаются установленные безопасные уровни радиационного воздействия на организмы: для млекопитающих, позво-

ночных животных и сосны — 1 мГр/сут, для растений (кроме сосны) и беспозвоночных животных — 10 мГр/сут [2]. Кроме водоема В-9 (Карачай) в качестве исключительного случая можно выделить водоем В-17 (Старое болото), где также наблюдалось превышение БУОБ [22].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная методология оценки эколого-экономического ущерба может быть использована в ситуациях, когда стоит задача проведения реабилитации территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате прошлой деятельности объектов использования атомной энергии и радиационных аварий, а также при реализации процедуры ОВОС и планировании природоохранных мероприятий в атомной отрасли. В условиях штатной деятельности ОИАЭ, в районах их расположения дозы облучения организмов биоты значительно ниже БУОБ, что свидетельствует об отсутствии негативного радиационного воздействия и значимого эколого-экономического ущерба.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крышев И.И., Курьндина Л.А., Линге И.И. Оценка ущерба окружающей среде при использовании атомной энергии // Атомная энергия. 2014. Т. 117. № 3. С. 159–164. [Kryshchov I.I., Kuryndina L.A., Lingge I.I. Otsenka ushherba okruzhajushhej srede pri ispol'zovanii atomnoj jenergii // Atomnaja jenergija. 2014. V. 117. № 3. P. 159–164. (In Russian)]
2. Рекомендации Р 52.18.820-2015. Оценка радиационно-экологического воздействия на объекты природной среды по данным мониторинга радиационной обстановки (Утверждены Росгидрометом Минприроды России 17.04.2015 г.). [Rekomendacii R 52.18.820-2015. Otsenka radiacionno-jekologicheskogo vozdejstvija na ob'ekty prirodnoj srede po dannym monitoringa radiacionnoj obstanovki (Utverzhdeny Rosgidrometom Minprirody Rossii 17.04.2015 g.) (In Russian)]
3. Environmental Protection: the Concept and Use of Reference Animals and Plants. ICRP Publication 108 // Ann. ICRP. 2008. V. 38. № 4–6.
4. Методика исчисления размера вреда, причиненного объектам животного мира, занесенным в Красную книгу Российской Федерации, а также иным объектам животного мира, не относящимся к объектам охоты и рыболовства и среде их обитания. Утв. Приказом МПР России от 28.04.2008 № 107. [Metodika ischislenija razmera vreda, prichinennogo ob'ektam zhivotnogo mira, zanesennym v Krasnuju knigu Rossijskoj Federacii, a takzhe inym ob'ektam zhivotnogo mira, ne odnosjashhimsja k ob'ektam ohoty i rybolovstva i srede ih obitanija. Utv. Prikazom MPR Rossii ot 28.04.2008 № 107. (In Russian)]
5. Методика исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды. Приказ МПР России № 238 от 08.07.2010. [Metodika ischislenija razmera vreda, prichinennogo pochvam kak ob'ektu ohrany okruzhajushhej srede. Prikaz MPR Rossii № 238 ot 08.07.2010. (In Russian)]
6. Методика исчисления размера вреда, причиненного водным биологическим ресурсам. Федеральное агентство по рыболовству. Приказ № 1166 от 25 ноября 2011 года. [Metodika ischislenija razmera vreda, prichinennogo vodnym biologicheskim resursam. Federal'noe agentstvo po rybolovstvu. Prikaz № 1166 ot 25 nojabrja 2011 goda. (In Russian)]
7. Методика исчисления размера вреда, причиненного охотничьим ресурсам. Утв. приказом Минприроды России от 8 декабря 2011 г. № 948. [Metodika ischislenija razmera vreda, prichinennogo ohotnich'im resursam. Utv. prikazom Minprirody Rossii ot 8 dekabrja 2011 g. № 948. (In Russian)]
8. Постановление Правительства РФ от 29.12.2018 г. № 1730 “Об утверждении особенностей возмещения вреда, причиненного лесам и находящимся в них природным объектам вследствие нарушения лесного законодательства”. [Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 29.12.2018 g. № 1730 “Ob utverzhdenii osobennostej vozmeshhenija vreda, prichinennogo lesam i nahodjashhimsja v nih prirodnyim ob'ektam vsledstvie narushenija lesnogo zakonodatel'stva”. (In Russian)]
9. Постановление Правительства РФ от 25 мая 1994 г. № 515 “Об утверждении такс для исчисления размера взыскания за ущерб, причиненный уничтожением, незаконным выловом или добычей водных биологических ресурсов” [Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 25 maja 1994 g. № 515 “Ob utverzhdenii taks dlja ischislenija razmera vzysskanija za ushherb, prichinennyj unichtozheniem, nezakonnym vylovom ili dobychej vodnyh biologicheskikh resursov”. (In Russian)]
10. Приказ Минприроды России от 1.08.2011 г. № 658 “Об утверждении такс для исчисления размера вреда, причиненного объектам растительного мира, занесенным в Красную книгу Российской Федерации, и среде их обитания вследствие нарушения законодательства в области охраны окружающей среды и природопользования” (Зарегистрировано в Минюсте РФ 20.09.2011 № 21841) [Prikaz Minprirody Rossii ot 1.08.2011 g. № 658 “Ob utverzhdenii taks dlja ischislenija razmera vreda, prichinennogo ob'ektam rastitel'nogo mira, zanesennym v Krasnuju knigu Rossijskoj Federacii, i srede ih obitanija vsledstvie narushenija zakonodatel'stva v oblasti ohrany okruzhajushhej srede i prirodnopol'zovanija” (Zaregistrirvano v Minjuste RF 20.09.2011 № 21841). (In Russian)]
11. Приказ Минприроды России от 11.07.2018 № 316 “О внесении изменений в методику исчисления вреда причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды”, утвержденную приказом Минприроды России от 8 июля 2010 г. № 238 [Prikaz Minprirody Rossii ot 11.07.2018 № 316 “O vnesenii izmenenij v metodiku ischislenija vreda prichinennogo pochvam kak ob'ektu ohrany okruzhajushhej srede”, utverzhdenuju prikazom Minprirody Rossii ot 8 julja 2010 g. № 238. (In Russian)]
12. ICRP — International Commission on Radiological Protection. Publication 136. Dose Coefficients for

- Non-Human Biota Environmentally Exposed to Radiation. *Annals of the ICRP*, 2017. 92 p.
13. ICRP – International Commission on Radiological Protection. Publication 114. Environmental Protection: Transfer Parameters for Reference Animals and Plants. *Annals of the ICRP*, 2009. 111 p.
  14. Научно-техническое пособие по подготовке обосновывающих материалов для принятия решения об отнесении радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам / Под ред. И.И. Линге. Версия 2.0. М.: ИБРАЭ РАН, 2014. 157 с. [Nauchno-tehnicheskoe posobie po podgotovke obosnovyvajushhikh materialov dlja prinjatija reshenija ob otnesenii radioaktivnykh othodov k osobym radioaktivnym othodam / Pod red. I.I. Linge. Versija 2.0. M.: IBRAE RAN, 2014. 157 s.]
  15. Линге И.И., Ведерникова В.В., Уткин С.С. и др. Оценка ущерба от радиационного воздействия на окружающую среду в районе расположения водоема Карачай // *Вопр. радиац. безопасности*. 2014. Т. 74. № 2. С. 34–42. [Linge I.I., Vedernikova V.V., Utkin S.S. i dr. Ocenka ushherba ot radiacionnogo vozdeystvija na okruzhajushhujuju sredju v rajone raspolozhenija vodoema Karachaj // *Voпр. радиац. безопасности*. 2014. V. 74. № 2. P. 34–42. (In Russian)]
  16. Отчет по экологической безопасности ФГУП “ПО “Маяк” за 2018 год. Озерск, 2019. 44 с. [Otchet rojekologicheskoi bezopasnosti FGUP “PO “Majak” za 2018 god. Ozersk, 2019. 44 s. (In Russian)]
  17. Kryshev I.I. Radioactive Contamination of Aquatic Ecosystems in the Areas of Nuclear Power Plants and Other Nuclear Facilities in Russia // *Radiochim. Acta*. 1996. V. 74. P. 199–202.
  18. Пряхин Е.А., Тряпицына Г.А., Атаманюк Н.И. и др. Фито- и зоопланктон специального промышленного водоема В-9 (озеро Карачай) // *Радиационная биология*. Радиоэкология. 2012. Т. 52. № 4. С. 419–427. [Prjahn E.A., Trjapicyna G.A., Atamanjuk N.I. i dr. Fito- i zooplankton special'nogo promyshlennogo vodoema V-9 (ozero Karachaj). *Radiacionnaja biologija*. Radiojekologija. 2012. V. 52. № 4. P. 419–427. (In Russian)]
  19. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2000–2018 гг. Ежегодники. Обнинск: ФГБУ “НПО “Тайфун”. Росгидромет, 2001–2019. [Radiacionnaja obstanovka na territorii Rossii i sopredel'nyh gosudarstv v 2000-2018 gg. Ezhegodniki. (Radiation situation in Russia and neighboring countries in 2000–2018. Yearbooks). Obninsk – FGBU “NPO “Tajfun”. Rosgidromet, 2001–2019. (In Russian)]
  20. Крышев И.И., Сазыкина Т.Г., Крышев А.И. Опыт апробации радиоэкологических критериев безопасности окружающей среды для Восточно-Уральского радиоактивного следа и районов расположения объектов использования атомной энергии // *Радиоэкологические чтения В.М. Клеchkовского* (30 ноября 2017 г., ВНИИРАЭ, Обнинск): Сб. мат. Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2017. С. 29–58. [Kryshev I.I., Sazykina T.G., Kryshev A.I. Experience of approbation of radioecological criteria environmental safety for the East Ural radioactive trace and areas of nuclear energy facilities location // *Radioekologicheskie chteniya V.M. Klechkovskogo* (30 nojabrja 2017 g., VNIIRAJe, Obninsk): Sbornik materialov. Obninsk: FGBNU VNIIRAJe, 2017. P. 29–58. (In Russian)]
  21. Крышев И.И. Радиационный мониторинг окружающей среды / Под ред. В.М. Шершаклова и А.Ф. Нерушева // *Альманах научных трудов к 60-летию НПО “Тайфун”*. М.: ООО “Информполиграф”, 2018. С. 85–110. [Kryshev I.I. Radiacionnyj monitoring okruzhajushhej sredy / Pod red. V.M. Shershakova i A.F. Nerusheva // *Al'manah nauchnyh trudov k 60-letiju NPO “Tajfun”*. M.: ООО “Informpoligraf”, 2018. P. 85–110. (In Russian)]
  22. Особые радиоактивные отходы / Под общей ред. И.И. Линге. М.: ООО “САМ полиграфист”, 2015. 240 с. [Osobyje radioaktivnye othody / Pod obshhej red. I.I. Linge. M.: ООО “SAM poligrafist”, 2015. 240 p. (In Russian)]

## Assessment of Environmental and Economic Damage from Radioactive Contamination of the Environment

I. I. Kryshev<sup>a</sup>, A. A. Buryakova<sup>a, #</sup>, and T. G. Sazykina<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Research and Production Association “Typhoon”, Obninsk, Russia

<sup>#</sup>E-mail: buryakova@rpatyphoon.ru

A description of the methodology for assessing environmental and economic damage from radioactive contamination of the environment is presented. Radiation damage to biota was estimated in monetary terms. Assessment of environmental and economic damage was based on the dose rate calculation for reference wildlife organisms in the impact area of nuclear power facilities. Dose rates were compared with the criteria for radioecological safety of the environment. If these criteria were exceeded, organisms were conservatively recognized as «destroyed». Numbers of destroyed organisms were proportional to population density and area of contaminated site. In monetary terms, damage to the environment was estimated in accordance with the regulatory and methodological documents using national taxes and standards for compensating the destruction of wildlife objects. The criteria for radioecological safety are satisfied for the majority of nuclear power facilities; therefore for these nuclear power facilities there is no significant environmental and economic damage. Application of the new methodology was demonstrated for the case of biota damage in the area of Lake Karachay, contaminated by past activity of the Mayak Production Association.

**Keywords:** environmental and economic damage, environment, biota, reference organisms, radiation doses, criteria for radioecological safety, nuclear power facilities, Lake Karachay