

**ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ
И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ.
БИОТЕХНОЛОГИИ
PROBLEMS IN ECOLOGY AND RATIONAL NATURE
MANAGEMENT. BIOTECHNOLOGIES**

Научная статья
УДК 630*182.9:630*913:574:44
<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.4.74>
EDN: LUOTXU

**Прогнозирование радиационной обстановки и внешнего облучения
работников лесного хозяйства при плотности загрязнения почвы
 ^{137}Cs 37–185 кБк/м²**

А. Н. Переволоцкий [✉], Т. В. Переволоцкая

Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»,
Российская Федерация, 249035, Обнинск, Киевское шоссе, д.1, к.1
forest_rad@mail.ru [✉]

Аннотация. *Введение.* По истечении 35 лет после аварии на ЧАЭС ~662 тыс. га лесных насаждений произрастают в Российской Федерации в зонах радиоактивного загрязнения, что требует обеспечения радиационной безопасности при ведении лесного хозяйства. *Цель* исследования – спрогнозировать радиационную обстановку и дозы внешнего облучения работающих в лесных насаждениях с плотностью загрязнения почвы ^{137}Cs 37–185 кБк/м². *Объекты и методы.* Объект исследования – условное участковое лесничество площадью 10 000 га в 100 лесных кварталах. Смоделирована плотность загрязнения почвы ^{137}Cs в диапазоне от 50 до 180 кБк/м². С 2024 по 2084 гг. выполнены прогнозные расчёты плотности загрязнения почвы ^{137}Cs , распределение кварталов леса по зонам и подзонам радиоактивного загрязнения, мощности эквивалента амбиентной дозы внешнего гамма-излучения и дозы облучения работающих. *Результаты.* Установлено, что на территории участкового лесничества к 2054 году при плотности загрязнения почвы ^{137}Cs от 37 до 74 кБк/м² будет находиться 7 700 га. К 2084 ~80 % территории перейдёт к условно незагрязнённой с плотностью загрязнения почвы ^{137}Cs от 18 до 37 кБк/м². *Выводы.* В лесных насаждениях участкового лесничества прогнозируется снижение межквартального интервала мощности эквивалента амбиентной дозы внешнего гамма-излучения с 95–125 нЗв/ч в 2024 году до 50–60 нЗв/ч в 2054 году и 25–35 нЗв/час в 2084 году. Диапазон дозы внешнего облучения работающих уменьшится с 0,12–0,15 мЗв/г в 2024 году до 0,03–0,04 мЗв/г в 2084 году, что более чем в шесть раз ниже по сравнению с регламентируемой НРБ-99/2010. Рекомендован радиометрический контроль продукции побочного пользования при плотности загрязнения почвы ^{137}Cs в диапазоне 18–37 кБк/м².

Ключевые слова: радиоактивное загрязнение; плотность загрязнения; квартал; ^{137}Cs ; зоны радиоактивного загрязнения; гамма-излучение; внешнее облучение; мощность эквивалента амбиентной дозы; работники лесного хозяйства

Финансирование: работа выполнена согласно государственному заданию НИЦ Курчатовский институт – ВНИИРАЭ.

© Переволоцкий А. Н., Переволоцкая Т. В., 2024

Для цитирования: Переволоцкий А. Н., Переволоцкая Т. В. Прогнозирование радиационной обстановки и внешнего облучения работников лесного хозяйства при плотности загрязнения почвы ^{137}Cs 37–185 кБк/м² // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер: Лес. Экология. Природопользование. 2024. № 4(64). С. 74–82. <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.4.74>; EDN: LUOTXU

Введение

Авария на Чернобыльской АЭС повлекла за собой широкомасштабное радиоактивное загрязнение лесов на территории бывшего СССР площадью почти 4 млн. га, из которых ~1,2 млн. га находилось на территории Российской Федерации [1]. Несмотря на почти двухкратное уменьшение площади загрязнённых лесов к 2020 году [1], проблема обеспечения радиационной безопасности при осуществлении лесохозяйственной деятельности не теряет своей актуальности. Это связано с повышенными дозами внешнего облучения работающих в лесу, что обусловлено преобладанием ^{137}Cs в поверхностных слоях почвы [2–5]. Поэтому оценка существующих и прогнозных доз внешнего облучения работающих является важной задачей как для обеспечения радиационной безопасности при лесопользовании, так и для снижения социальной напряжённости в обществе, вызванной постоянным проживанием и работой в условиях радиоактивного загрязнения [6]. Существующий уровень внешнего облучения может быть определён на основе индивидуальных термомлюминесцентных дозиметров, в то время как прогнозирование доз требует применения расчётных методов [4]. Особенно это важно для существующей радиационно-экологической ситуации в зоне с льготным социально-экономическим статусом при плотности загрязнения почвы ^{137}Cs 37–185 кБк/м², поскольку выделение «чернобыльской» фракции внешнего облучения перекрывается флуктуацией естественного радиационного фона и в этом случае расчётные методы позволяют получить более точную оценку внешней дозы [5, 7, 8].

Таким образом, **цель** исследования – прогнозная оценка радиационной обста-

новки и дозы внешнего облучения работников лесного хозяйства при осуществлении производственной деятельности в лесных насаждениях, произрастающих при плотности загрязнения почвы ^{137}Cs от 37 до 185 кБк/м².

Объекты и методы

Объектом исследования послужила территория условного участкового лесничества, расположенного в зоне с плотностью загрязнения почвы ^{137}Cs от 37 до 185 кБк/м², общей площадью 10 000 га, в котором выделены 100 лесных кварталов. Выбор объекта исследований в указанной зоне радиоактивного загрязнения определён тем, что к ней в настоящее время относится 82 % лесных насаждений на территории Российской Федерации [1]. Соответственно, диапазон плотности загрязнения лесных почв ^{137}Cs от 37 до 185 кБк/м² является наиболее представительным и выполнение прогнозных оценок радиационной обстановки и дозы внешнего облучения в моделируемых условиях позволяет с достаточной точностью спрогнозировать внешнее облучение в реальных участковых лесничествах.

Предмет исследования – динамика радиационной обстановки и дозы внешнего облучения работников лесного хозяйства (мастера леса, лесники, рабочие).

При проведении прогнозных расчётов дозы внешнего облучения приняты допущения.

Плотность загрязнения почвы ^{137}Cs 100 лесных кварталов объекта исследования смоделирована в диапазоне от 50 до 180 кБк/м² на 2024 год с применением генератора случайных величин согласно логнормальному закону распределения.

Расчёт динамики плотности загрязнения почвы ^{137}Cs в каждом квартале выполняли с шагом в 10 лет на протяжении

60 лет. На каждом шаге определяли площадь лесных насаждений лесничества в следующих зонах: условно не загрязнённой (с плотностью загрязнения почвы $^{137}\text{Cs} < 18$ и $18-37$ кБк/м²) и в зоне с льготным социально-экономическим статусом ($37-185$ кБк/м²), деля её на две подзоны ($37-74$ и $74-185$ кБк/м²). Выделение последних обусловлено различиями в ограничениях на заготовку продукции побочного пользования [9].

Предполагали выполнение работ в лесных кварталах на протяжении шести часов без учёта времени на переезд к месту их выполнения и обратно, обед и подготовительно-заключительные работы на протяжении 200 рабочих дней в год. Сверхплановые работы, связанные с тушением лесных пожаров и иными экстремальными ситуациями, не учитывали.

На протяжении одного рабочего дня принимали выполнение работ только в одном лесном квартале, при этом возможно их выполнение в одном и том же квартале на протяжении нескольких рабочих дней.

Выбор квартала, в котором предполагали выполнение работ в конкретный рабочий день, осуществляли с помощью генератора случайных величин, реализующего равномерное распределение от 1 до 100.

Все работники получали одинаковую дозу внешнего облучения при ведении работ в одном квартале на протяжении рабочего дня.

Предполагали, что в течение всех рабочих дней атмосферных осадков не происходило, не учитывали экранирование излучения техникой и снеговым покровом.

Мощность эквивалента амбиентной дозы внешнего гамма-излучения на высоте 1 м над поверхностью почвы в каждом квартале рассчитывали в виде произведения дозового коэффициента $1,28 \cdot 10^{-6}$ (мЗв/ч)/(кБк/м²) [4, 10] на плотность загрязнения почвы ^{137}Cs для года прогнозирования.

Дозу внешнего облучения при работе в лесных кварталах D^T рассчитывали по формуле:

$$D^T = \sum_{i=1}^{200} (6 \cdot A_i^T \cdot DCF), \quad (1)$$

где 6 – продолжительность работы на протяжении рабочего дня, час; A_i^T – плотность загрязнения почвы ^{137}Cs в i -м квартале для года T , кБк/м²; DCF – коэффициент дозовой конверсии, (мЗв/ч)/(кБк/м²) [4].

Дозой внешнего облучения работников, формируемой при проживании и пребывании в различных локациях населённого пункта, пренебрегали.

Для каждого года прогнозирования рассчитывали медиану, 5, 25, 75, 95 % перцентили распределения плотности загрязнения почвы ^{137}Cs , мощности эквивалента амбиентной дозы и дозы внешнего облучения работающих.

Результаты и их обсуждение

В 2024 году медиана плотности загрязнения почвы ^{137}Cs в лесных насаждениях составит 86 кБк/м², а межквартильный интервал – от 75 до 100 кБк/м² (рис. 1). Всего лишь в 5 % лесных кварталов плотность загрязнения не превысит 63 кБк/м². Соответственно, почти 2 000 га лесных насаждений будут относиться к подзоне с плотностью загрязнения ^{137}Cs $37-74$ кБк/м² и оставшаяся часть – $74-185$ кБк/м² (табл. 1).

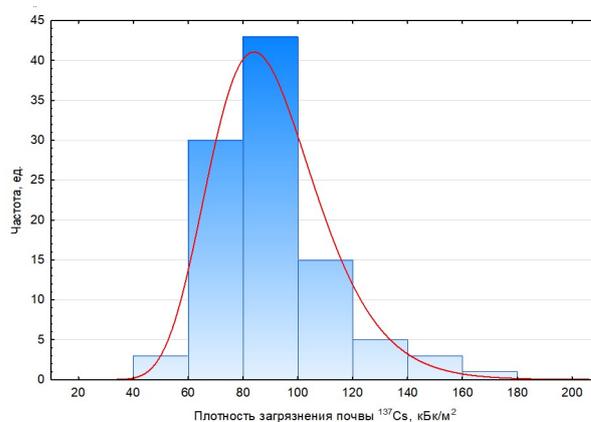


Рис. 1. Плотность загрязнения почвы ^{137}Cs лесных кварталов условного участкового лесничества
Fig. 1. Density of ^{137}Cs contamination of soil in the forest compartments of the conditional district forestry

Таблица 1. Прогнозное распределение плотности загрязнения ^{137}Cs почвы в условном лесничестве
 Table 1. Predicted distribution of the density of soil contamination with ^{137}Cs in the conditional district forestry

Зона радиоактивного загрязнения, диапазон плотности загрязнения почвы ^{137}Cs , кБк/м ²	Годы						
	2024	2034	2044	2054	2064	2074	2084
Условно «чистая» территория							
<18	0	0	0	0	0	200	1 600
18–37	0	0	200	1 900	6 200	8 600	8 000
Зона с льготным социально-экономическим статусом							
37–74	2 000	6 300	8 600	7 700	3 800	1 200	400
74–185	8 000	3 700	1 200	400	0	0	0
Всего	10 000						

С течением времени будет происходить снижение плотности загрязнения почвы ^{137}Cs с соответствующим перераспределением территории лесничества по подзонам радиоактивного загрязнения. Так, спустя 10 лет основная площадь лесных кварталов (6 300 га) перейдёт в подзону с плотностью загрязнения 37–74 кБк/м², а в 2044 году площадь лесных насаждений в этой подзоне достигнет максимума – 8 600 га. Соответственно, будет уменьшаться площадь лесов при плотности загрязнения почвы 74–185 кБк/м² и к 2034 году она составит 3 700 га, а к 2044 году – 1 200 га, после 2054 года в этой подзоне лесных кварталов уже не останется. Следует отметить, что согласно существующим рекомендациям по ведению лесного хозяйства на радиоактивно загрязнённых территориях, переход лесных насаждений в подзону 37–74 кБк/м² позволит существенно расширить побочное пользование лесом, главным образом, связанное с заготовкой слабо- и средненакапливающих ^{137}Cs грибов, лесных ягод и сена [2, 9].

Наиболее интенсивное перераспределение между загрязнённой и условно «чистой» территорией произойдёт после 2054 года. Так, с 2054 по 2064 год произойдёт двухкратное уменьшение площади лесов при плотности загрязнения почвы ^{137}Cs 37–74 кБк/м² (с 7 700 до 3 800 га), а в условно «чистой» зоне ожидается увеличение площади лесов почти в три раза (с 1 900 до 6 200 га). В последующие годы сохранится тенденция уменьшения площади лесных насаждений в загрязнённой зоне и увеличения – в категории условно

«чистых» земель, причём в отдалённой перспективе площадь лесных кварталов будет возрастать при плотности загрязнения почвы <18 кБк/м².

Отметим, что в настоящей работе не учитывался коэффициент вариации плотности загрязнения почвы ^{137}Cs , составляющий на дальнем следе радиоактивных выпадений ЧАЭС ~30 % [2]. Соответственно, при активности ~30 кБк/м² значительная часть квартала (до 1/3) может фактически относиться к зоне с льготным социально-экономическим статусом, а при плотности загрязнения 150 кБк/м² – даже к зоне с правом на отселение. Ещё один аспект связан с большим коэффициентом перехода ^{137}Cs для лесных грибов из группы сильнонакапливающих и аккумуляторов [12]. Соответственно, сочетание этих двух факторов при заготовке вышеуказанных групп грибов на локальных участках с повышенным содержанием ^{137}Cs относительно средних по кварталу может привести к значительному превышению допустимого норматива содержания радионуклида в грибах даже на условно «чистой» территории. Поэтому рекомендуется проведение радиометрического контроля продукции побочного пользования как в подзоне радиоактивного загрязнения с плотностью загрязнения почвы ^{137}Cs в диапазоне 37–74 кБк/м², так и при меньшей активности радионуклида в почве.

Медиана расчётной мощности эквивалента амбиентной дозы в лесных кварталах составит 111 нЗв/ч при межквартильном интервале от 95 до 125 нЗв/ч, при этом с 95 % вероятностью исследуемый показа-

тель на территории лесничества не превысит 160 нЗв/ч (рис. 2). Диапазон значений мощности дозы можно сравнить с таковым, формируемым от естественных источников ионизирующего излучения на территории Российской Федерации – 44–134 нГр/ч с медианой 90 нГр/ч [11]. Таким образом, вклад гамма-излучения ^{137}Cs в суммарную мощность дозы может превышать 60 % и уверенно фиксироваться дозиметром с сцинтилляционным детектором излучения.

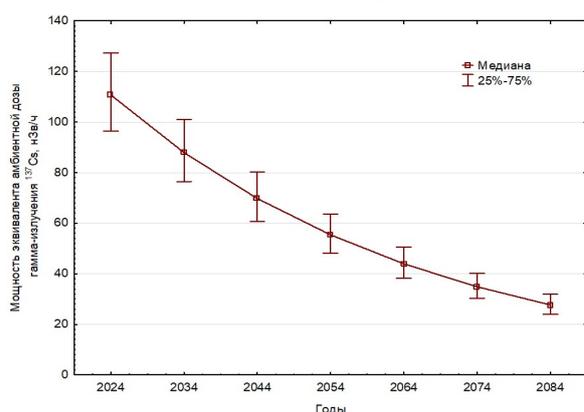


Рис. 2. Динамика мощности эквивалента амбиентной дозы внешнего гамма-излучения в лесных кварталах

Fig. 2. Dynamics of the ambient dose equivalent rate of external gamma radiation in the forest compartments

В дальнейшем в лесных насаждениях будет происходить снижение уровня внешнего гамма-излучения. Межквартильный интервал мощности эквивалента амбиентной дозы в 2034 году составит 76–110 нЗв/час, в 2044 – 60–80, а к 2084 году снизится до минимума – менее 30 нЗв/час. При этом основным процессом, определяющим снижение мощности дозы, является радиоактивный распад ^{137}Cs , поскольку миграция радионуклида в глубин-

ные слои в наиболее распространённых свежих и влажных гигротопах выражена очень слабо. В пользу этого факта свидетельствует сопоставимый с периодом полураспада ^{137}Cs экологический период очищения этих почв – 27–29 лет [2]. Неравномерность мощности эквивалента амбиентной дозы в лесных насаждениях не столь выражена, что объясняется сильным распространением гамма-лучей и перекрытием полей ионизирующего излучения от локальных участков леса с различной плотностью загрязнения почвы ^{137}Cs . Показано [12], что при коэффициенте вариации плотности загрязнения почвы ^{137}Cs ~30 % этот статистический показатель для мощности эквивалента амбиентной дозы не превысит 20 %. Соответственно, можно говорить о более выравненном характере внешнего облучения в лесных насаждениях.

При работе в лесных насаждениях будет происходить уменьшение эффективной дозы облучения работающих с 0,12–0,15 мЗв/год в 2024 году до 0,03–0,04 мЗв/год в 2084 году (табл. 2). Полученные авторами значения дозы внешнего облучения согласуются с результатами исследований Т. А. Марченко с соавторами [13]. Последними экспериментально установлено, что в настоящее время при плотности загрязнения почвы 450 кБк/м² у работающих в течение 1 500 часов/год в лесных насаждениях может быть сформирована доза внешнего облучения 1 мЗв/год. Полученные значения не отличаются более чем на 20 % при приведении величины дозы внешнего облучения к одинаковой плотности загрязнения почвы ^{137}Cs .

Таблица 2. Динамика дозы внешнего облучения работающих в лесных насаждениях в условном участковом лесничестве, мЗв/год

Table 2. Dynamics of the external radiation dose to workers in the forest plantations of the conditional district forestry, mSv per year

Эффективная доза внешнего облучения работающих, мЗв/год	Годы						
	2024	2034	2044	2054	2064	2074	2084
25 % перцентиль	0,120	0,097	0,076	0,060	0,048	0,038	0,030
Медиана	0,135	0,110	0,086	0,068	0,054	0,043	0,034
75 % перцентиль	0,153	0,124	0,098	0,077	0,061	0,048	0,039

Таким образом, при работе в течение 1 200 часов/год в лесных насаждениях, произрастающих в зоне с льготным социально-экономическим статусом, в настоящее время может быть получена доза облучения примерно в шесть раз ниже по сравнению с регламентируемой для населения согласно НРБ-99/2010. В дальнейшем величина эффективной дозы будет только уменьшаться. Определение дозы облучения при проживании в сельском населённом пункте выходит за рамки настоящей статьи. Однако при предварительной оценке надо учитывать, что даже при равной плотности загрязнения почвы лесных насаждений и в населённых пунктах доза облучения вне леса будет ниже. Это объясняется экранированием ионизирующего излучения зданиями и элементами покрытия на дорогах, тротуарах и обочинах, а также равномерным распределением ^{137}Cs на приусадебных участках.

Выводы

1. В 2044 году медиана плотности загрязнения почвы ^{137}Cs в лесных насаждениях составит 86 кБк/м², а межквартильный интервал – от 75 до 100 кБк/м². 2 000 га лесных насаждений будут относиться к подзоне с плотностью загрязнения ^{137}Cs 37–74 кБк/м². К 2054 году в этой подзоне будет сосредоточена наибольшая площадь лесов – 7 700 га, а к 2084 преоб-

ладающая часть лесных насаждений перейдет на условно «чистую» территорию <37 кБк/м².

2. Прогнозируется снижение межквартильного интервала мощности эквивалента амбиентной дозы внешнего гамма-излучения в лесных насаждениях с 95–125 нЗв/ч в 2024 году до 50–60 нЗв/ч в 2054 году и 25–35 нЗв/час в 2084 году. Соответственно, вклад излучения ^{137}Cs из состава аварийных выпадений ЧАЭС в суммарную мощность дозы внешнего гамма-излучения снизится с ~60 до ~20 %.

3. Диапазон дозы внешнего облучения работающих в лесных насаждениях уменьшится с 0,12–0,15 мЗв/г в 2024 году до 0,03–0,04 мЗв/г в 2084 году. Полученные дозовые показатели более чем в шесть раз ниже по сравнению с регламентируемой НРБ-99/2010.

4. В связи с неравномерным характером радиоактивного загрязнения лесных насаждений и большими коэффициентами перехода ^{137}Cs для некоторых видов лесных грибов вероятно превышение допустимого уровня содержания в них радионуклида даже при плотности загрязнения почвы <37 кБк/м². По этой причине рекомендуется проведение радиометрического контроля продукции побочного пользования при плотности загрязнения почвы ^{137}Cs менее 37 кБк/м².

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Российский национальный доклад: 35 лет Чернобыльской аварии. Итоги и перспективы преодоления ее последствий в России 1986-2021 / под общ. ред. Л. А. Большова. М.: ИБРАЭ РАН, 2021. 104 с. EDN: UBYFRY

2. Радиоэкологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС: биологические эффекты, миграция, реабилитация загрязненных территорий: монография / В. С. Анисимов, С. А. Гераськин, И. В. Гешель и др.; под ред. Н. И. Санжаровой и С. В. Фесенко. М.: РАН, 2018. 278 с. EDN: XUBZYT

3. Лес. Человек. Чернобыль. Лесные экосистемы после аварии на Чернобыльской АЭС: состояние, прогноз, реакция населения, пути реабилитации / В. А. Ипатьев, В. Ф. Багинский, И. М. Булавик и др.; под ред. В. А. Ипатьева. Гомель: Институт леса НАН Беларуси, 1999. 454 с.

4. Оценка годовой эффективной дозы внешнего облучения в лесах юго-западных районов Брянской области России: 2015-2021 гг. / В. П. Рамзаев, А. Н. Барковский, А. А. Братилова и др. // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 3. С. 58–71. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-3-58-71; EDN: LCLAQM

5. Радиационная обстановка в молодом сосновом лесу, выросшем после Чернобыльской аварии / В. П. Рамзаев, А. Н. Барковский, К. В. Варфоломеева и др. // Радиационная гигиена. 2023. Т. 16, № 1. С. 40–51. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-1-40-51; EDN: KLCPYQ

6. Марченко Т. А., Тазетдинова М. Н. Социально-психологические проблемы граждан, подвергшихся радиационному воздействию вследствие аварии на ЧАЭС // Радиация и риск. 2016.

Т. 25, № 4. С. 100–110. DOI: 10.21870/0131-3878-2016-25-4-100-110; EDN: XEGTTX

7. Григорьев А. И., Панкратов Л. В. Проблемы вычитания фона при индивидуальном дозиметрическом контроле и радиационном контроле на открытой местности // Радиационная гигиена. 2011. Т. 4. № 4. С. 42–48. EDN: PGNLDN

8. Обеснюк В. Ф. Дозиметрический парадокс вычитания фона и способ его преодоления // АНРИ. 2020. № 1 (100). С. 25–36. DOI: 10.37414/2075-1338-2020-100-1-25-36; EDN: LSQZIH

9. Марадудин И. И., Панфилов А. В., Шубин В. А. Основы прикладной радиоэкологии леса. М.: ВНИИЛМ, 2001. 221 с.

10. Petoussi-Hens N., Satoh D., Endo A. et al. ICRP Publication 144: Dose Coefficients for External Exposures to Environmental Sources // Annals of the

ICRP. 2020. Vol. 49, iss. 2. Pp. 11–145. DOI: 10.1177/0146645320906277

11. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Vol. 1. Sources. Annex B. Exposure from natural sources. New York: United Nations, 2000. 654 p.

12. Переволоцкий А. Н. Распределение ^{137}Cs и ^{90}Sr в лесных биогеоценозах. Гомель: РНИУП «Институт радиологии», 2006. 255 с.

13. Марченко Т. А., Радин А. И., Раздаиводин А. Н. Оценка мощности амбиентного эквивалента дозы на лесных участках в юго-западных районах Брянской области // Радиация и риск. 2023. Т. 32, № 4. С. 67–78. DOI: 10.21870/0131-3878-2023-32-4-67-78; EDN: AYLHKA

Статья поступила в редакцию 29.07.2024; одобрена после рецензирования 28.08.2024; принята к публикации 25.11.2024

Информация об авторах

ПЕРЕВОЛОЦКИЙ Александр Николаевич – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории математического моделирования и программно-информационного обеспечения, Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии Национального исследовательского центра «Курчатовский институт». Область научных интересов – радиационная экология окружающей среды, расчётные методы дозиметрии. Автор 250 научных публикаций, в том числе четырёх монографий. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6913-7609>; SPIN-код: 1469-3199

ПЕРЕВОЛОЦКАЯ Татьяна Витальевна – кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории математического моделирования и программно-информационного обеспечения, Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии Национального исследовательского центра «Курчатовский институт». Область научных интересов – радиационная экология окружающей среды, расчётные методы дозиметрии. Автор 200 научных публикаций, в том числе двух монографий. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8250-5536>; SPIN-код: 4562-3671

Доступность данных и материалов: применены математические методы для подготовки исходных данных, имитирующие радиоактивное загрязнение, данные являются общедоступными.

Вклад авторов:

Переволоцкий А. Н. – разработка концепции статьи и методики выполнения работ, выполнение прогнозных расчётов плотности загрязнения почвы и распределения территории по зонам загрязнения, анализ результатов, написание статьи.

Переволоцкая Т. В. – разработка алгоритма выполнения расчётов, проведение прогнозных расчётов дозы внешнего облучения работников, статистическая обработка данных, написание статьи.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Scientific article

UDC 630*182.9:630*913:574:44

<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.4.74>

EDN: LUOTXU

Forecasting the Radiation Situation and External Exposure of Forestry Workers at a Soil Pollution Density of ^{137}Cs 37-185 kBq/m²

A. N. Perevolotsky , T. V. Perevolotskaya

Russian Institute of Radiology and Agroecology
of National Research Centre “Kurchatov Institute”,
1/1, Kievskoe shosse, Obninsk, 249035, Russian Federation
forest_rad@mail.ru 

Abstract. *Introduction.* Thirty-five years after the Chernobyl accident, approximately 662 thousand hectares of forest plantations in the Russian Federation are growing in the areas affected by radioactive contamination, which requires ensuring radiation safety in forestry operations. *The purpose of the study* is to predict the radiation situation and external radiation doses to workers in forest plantations where the ^{137}Cs contamination density of soil varies within the range of 37–185 kBq/m². *Objects and methods.* The object of the study is a conditional district forestry that has an area of 10,000 hectares and includes 100 forest compartments. The density of soil pollution with ^{137}Cs was modeled in the range from 50 to 180 kBq/m². For the 2024 to 2084 period, forecast calculations of the density of soil pollution with ^{137}Cs were made along with the distribution of forest compartments according to the zones and subzones of radioactive contamination, the ambient dose equivalent rate of external gamma radiation, and the radiation dose to workers. *Results.* It has been established that by 2054, 7,700 hectares will be located on the territory of the district forestry with the ^{137}Cs contamination density of soil varying from 37 to 74 kBq/m². By 2084, around 80 per cent of the territory will have been categorized as conditionally uncontaminated, the density of soil contamination with ^{137}Cs ranging from 18 to 37 kBq/m². *Conclusion.* In the district forestry plantations, the inter-compartment interval of the ambient dose equivalent rate of external gamma radiation is predicted to decrease from 95–125 nSv/h in 2024 to 50–60 nSv per hour in 2054, and to 25–35 nSv per hour in 2084. The range of the external radiation dose to workers will decrease from 0.12–0.15 mSv per year in 2024 to 0.03–0.04 mSv per year in 2084, which is more than six times lower than the national Radiation Safety Standards NRB-99/2010. Radiometric control of by-use products is recommended at the ^{137}Cs contamination density of soil varying within the range of 18–37 kBq/m².

Keywords: radioactive contamination, pollution density, compartment, ^{137}Cs , radioactive contamination zones, gamma radiation, external irradiation, ambient dose equivalent rate, forestry workers

Funding: the work was carried out within the framework of the state assignment for the NRC “Kurchatov Institute” – RIRAE.

For citation: Perevolotsky A. N., Perevolotskaya T. V. Forecasting the Radiation Situation and External Exposure of Forestry Workers at a Soil Pollution Density of ^{137}Cs 37-185 kBq/m². *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management.* 2024;(4):74–82. (In Russ.). <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.4.74>; EDN: LUOTXU

REFERENCES

1. The Russian National Report. 35 years of the Chernobyl accident. Results and prospects of overcoming its consequences in Russia 1986–2021. Bolshov L. A. (Ed.). Moscow, IBRAE RAS; 2021. 104 p. EDN: UBYFPY (In Russ.).
2. Anisimov V. S., Geraskin S. A., Geshel I. V. et al. Radioecological consequences of the Chernobyl accident: biological effects, migration, rehabilitation of contaminated areas. Sanzharova N. I., Fesenko S. V. (Eds.). Moscow: RAS; 2018. 278 p. EDN: XUBZYT (In Russ.).
3. Ipat'ev V. A., Baginskii V. F., Bulavik I. M. et al. Forest. Man. Chernobyl. Forest ecosystems after the Chernobyl accident. Forest ecosystems after the accident at the Chernobyl nuclear power plant: their state, prognosis, population response, and ways of rehabilitation. Ipat'ev V. A. (Ed.). Gomel: Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus; 1999. 454 p. (In Russ.).
4. Ramzaev V. P., Barkovsky A. N., Bratilova A. A. et al. Assessment of annual effective dose

from external exposure in forests of the south-western districts of the Bryansk region of Russia: 2015–2021. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022; 15(3):58–71. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-3-58-71; EDN: LCLAQM (In Russ.).

5. Ramzaev V. P., Barkovsky A. N., Varfolomeeva K. V. et al. Radiological situation in the young pine forest that grew after the Chernobyl accident. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023; 16(1):40–51. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-1-40-51; EDN: KLCYQ (In Russ.).

6. Marchenko T. A., Tazetdinova M.N. Social and psychological impacts of the accident at the Chernobyl NPP on exposed populations. *Radiation and Risk*. 2016;25(4):100–110. DOI: 10.21870/0131-3878-2016-25-4-100-110; EDN: XEGTTX (In Russ.).

7. Grigorev A. I., Pankratov L. V. Problems of subtraction of the background in the process of the individual radiation control and radiating control on open air. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2011;4(4):42–48. EDN: PGNLND (In Russ.).

8. Obesnyuk V. F. Dosimetric paradox of background subtracting and method of its resolution.

ANRI. 2020;1(100):25–36. DOI: 10.37414/2075-1338-2020-100-1-25-36; EDN: LSQZIH (In Russ.).

9. Maradudin I. I., Panfilov A. V., Shubin V. A. Fundamentals of applied radioecology of the forest. Moscow, VNIILM Publ.; 2001. 221 p. (In Russ.).

10. Petoussi-Henss N., Satoh D., Endo A. et al. ICRP Publication 144: Dose Coefficients for External Exposures to Environmental Sources. *Annals of the ICRP*. 2020. 49(2):11-145. DOI: 10.1177/0146645320906277

11. Sources and effects of ionizing radiation. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Vol. 1. Sources. Annex B. Exposure from natural sources. New York, United Nations Publ.; 2000. 654 p.

12. Perevolotskiy A. N. Distribution of ^{137}Cs and ^{90}Sr in forest biogeocenoses. Gomel, RNIUP ‘Institut Radiologii’ Publ.; 2006. 255 p. (In Russ.).

13. Marchenko T. A., Radin A. I., Razdaivodin A. N. Estimation of ambient dose equivalent rate in forest sites in the south-west of the Bryansk region. *Radiation and Risk*. 2023;32(4):67–78. DOI: 10.21870/0131-3878-2023-32-4-67-78; EDN: AYLHKA (In Russ.).

The article was submitted 29.07.2024; approved after reviewing 28.08.2024; accepted for publication 25.11.2024

Information about the authors

Alexander N. Perevolotsky – Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher at the Laboratory of Mathematical Modeling and Software & Information Support, Russian Institute of Radiology and Agroecology of National Research Centre “Kurchatov Institute”. Research interests – radiation ecology of the environment, computational methods of dosimetry. Author of 250 scientific publications including four monographs. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6913-7609>; SPIN: 1469-3199

Tatyana V. Perevolotskaya – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Senior Researcher at the Laboratory of Mathematical Modeling and Software & Information Support, Russian Institute of Radiology and Agroecology of National Research Centre “Kurchatov Institute”. Research interests – radiation ecology of the environment, computational methods of dosimetry. Author of 200 scientific publications including two monographs. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8250-5536>; SPIN: 4562-3671

Availability of data and materials. For the preparation of initial data, mathematical methods were used to simulate radioactive contamination; the data are publicly available.

Contribution of the authors:

Perevolotsky A.N. – development of the concept of the article and the methodology of research work, performing predictive calculations of the soil contamination density and territory distribution by contaminated zones, analyzing the results, writing an article.

Perevolotskaya T.V. – development of an algorithm for performing calculations, carrying out predictive calculations of the dose of external radiation to workers, statistical data processing, writing an article.

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest.

All authors read and approved the final manuscript