

Научная статья

УДК623.459.8.006.014

doi: 10.34987/2712-9233.2025.50.68.002

Анализ радиационной опасности при возникновении лесных пожаров на территории Брянской области

¹Василий Александрович Дуганов

¹Владлен Платонович Малышев

²Роман Леонидович Луговой

¹Ксения Михайловна Шурыгина

¹ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), Москва, Россия

²Главное управление МЧС России по Брянской области

Автор, ответственный за переписку: Шурыгина Ксения Михайловна, ksusha_shurygina1999@mail.ru

Аннотация. В настоящей статье представлен анализ радиационной опасности, возникающей при лесных пожарах на территории Брянской области. Указанная опасность обусловлена долговременными последствиями чернобыльской катастрофы, в результате которой значительные территории были загрязнены радионуклидами, преимущественно цезием-137. Лесные пожары способствуют повторному выносу радиоактивных частиц в атмосферу, что увеличивает риск ингаляционного облучения населения и распространения загрязнения на новые территории. Проведённая оценка позволяет определить наиболее уязвимые зоны и разработать меры по минимизации радиационных рисков в условиях чрезвычайных ситуаций природного характера.

Ключевые слова: крупномасштабная авария, естественные процессы распада и миграции опасных веществ, стойкие загрязнители, особенности миграции радионуклидов в лесной растительности.

Для цитирования: Дуганов В.А., Малышев В.П., Луговой Р.Л., Шурыгина К.М. Анализ радиационной опасности при возникновении лесных пожаров на территории Брянской области // Актуальные проблемы безопасности в техносфере 2025. № 3(19) С.13-19 URL:<https://doi.org/10.34987/2712-9233.2025.50.68.002>

Analysis of radiation hazard in case of forest fires in the Bryansk region

¹Vasily Alexandrovich Duganov

¹Vladlen Platonovich Malyshev

²Roman Leonidovich Lugovoy

¹Kseniya Mikhailovna Shurygina

¹VNII GOChS (FC), Moscow, Russia

²The Main Directorate of the Russian Ministry of Emergency Situations in the Bryansk region

Corresponding author: Shurygina Kseniya Mikhailovna, ksusha_shurygina1999@mail.ru

Abstract. This article presents an analysis of the radiation hazard associated with forest fires in the Bryansk Oblast. The radiation risk is caused by long-term radiological consequences resulting from the accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant, which led to significant contamination of the region with radionuclides,

primarily cesium-137. Forest fires can resuspend radioactive particles into the atmosphere, increasing the potential for inhalation exposure and the spread of contamination. The study assesses the current risks and identifies vulnerable areas requiring monitoring and protective measures during fire emergencies.

Keywords: large-scale accident, natural processes of decomposition and migration of hazardous substances, persistent pollutants, features of migration of radionuclides in forest vegetation.

For citation: Duganov V.A., Malyshev V.P., Lugovoy R.L., Shurygina K.M. Analysis of radiation hazard in case of forest fires in the Bryansk region // Actual problems of safety in the technosphere 2025. No. 3(19) P. 13-19 URL:<https://doi.org/10.34987/2712-9233.2025.50.68.002>

Лесные пожары представляют собой серьезную экологическую угрозу, способную нанести значительный ущерб, как природным экосистемам, так и здоровью человека. В условиях Брянской области, имеющей сложную радиационную историю, особенно актуальным становится анализ радиационной опасности, возникающей в результате лесных пожаров. Важно отметить, что в случае возникновения пожаров на загрязненных территориях происходит не только уничтожение растительности, но и возможный выброс радионуклидов в атмосферу, что может усугубить и без того сложную радиационную ситуацию. Эти факторы подчеркивают необходимость комплексного подхода к оценке рисков, связанных с лесными пожарами, особенно в контексте исторических аварий, которые оставили значительный след на окружающей среде.

К числу крупномасштабных чрезвычайных ситуаций с долговременными радиационными последствиями могут быть отнесены аварии на производстве по изготовлению ядерного топлива в Южном Урале, на Чернобыльской АЭС, на АЭС «Фукусима-1». Наиболее значимыми последствиями подобных аварий является долговременное загрязнение территорий, непригодных для каких-либо форм деятельности человека. В качестве веществ, создающих долговременное загрязнение территорий, следует рассматривать радионуклиды с длительным периодом полураспада.

Изучение стойкости радиоактивного загрязнения территорий на примере изучения последствий чернобыльской аварии показало, что динамика изменения радиоактивного загрязнения различных природных сред существенно различается. Наибольшему радиоактивному загрязнению подверглись лесные массивы, так как они сыграли роль фильтров, поглощающих радиоактивные аэрозоли на поверхности земного ландшафта. Это наглядно подтверждено гибелью хвойного лесного массива, который был расположен вблизи Чернобыльской АЭС, и, в последствии, назван «рыжим лесом». За счет поглощения значительной части первоначального выброса радиоактивных веществ были существенно уменьшены уровни радиоактивного загрязнения на территориях Житомирской, Ровенской и других областях западной Украины. Основная масса радионуклидов оседает на кронах деревьев. Осенью вместе с опавшими листьями радионуклиды уходят в почву, а затем за счет корневого поступления повторно загрязняют кроны деревьев. Поэтому самоочищение лесов происходит крайне медленно, в основном, за счет естественного радиоактивного распада долгоживущих радионуклидов. В связи с этим, на площади более чем на 59 тыс. га лесов была прекращена хозяйственная деятельность.

К настоящему времени общая площадь загрязненных лесов составляет 1 млн. га. Наибольшее загрязнение лесного фонда наблюдается в Брянской (270 тыс. га), Калужской (157 тыс. га), Пензенской (111 тыс. га) и Орловской (108 тыс. га) областях, что составляет более 30% общей площади лесного фонда этих областей[1].

По оценкам специалистов, загрязнение леса продолжает нарастать за счет корневого поступления. По прогнозам, в ближайшие 10 лет надземная фитомасса 30-летних сосняков накопит 10% от общего запаса цезия, а затем начнет очищаться с периодом полувыведения около 30 лет [2]. Общие данные прогноза изменения площади земель лесного фонда в субъектах Российской Федерации на территориях с загрязнением почв цезием-137 свыше 1 Ки/км² приведены в таблице 1.

Табл. 1. Прогноз изменения площади земель лесного фонда в субъектах Российской Федерации с загрязнением почв цезием-137 свыше 1 Ки/км²

Субъекты Российской Федерации	Загрязнено земель лесного фонда РФ (тыс. га)		
	2026	2036	2046
Белгородская	11,86	5,59	1,26
Брянская	270,18	181,53	175,80
Воронежская	8,11	0,98	0,56
Калужская	157,04	76,99	64,51
Курская	20,42	3,23	2,34
Ленинградская	85,70	30,18	30,18
Липецкая	6,90	0,05	-
Орловская	108,82	43,66	0,64
Пензенская	111,39	15,17	-
Рязанская	23,01	1,75	0,72
Тульская	71,72	34,48	25,34
Ульяновская	25,22	-	-
Всего	900,37	393,61	301,35

Многолетние наблюдения за сельхозугодиями показывают, что изменение уровней загрязнения территорий происходит под влиянием следующих основных факторов:

- естественного распада радионуклидов;
- заглубления радионуклидов под действием природно-климатических процессов;
- перераспределения радионуклидов в почвенном слое за счет антропогенного воздействия.

Долгосрочный прогноз изменения загрязнения местности цезием-137 от аварии на Чернобыльской АЭС имеет практическое значение в России для 19 субъектов, где наблюдались значительные уровни загрязнения. По данным Атласа радиоактивного загрязнения Европейской части России, Белоруссии и Украины, приведенным в табл. 2, прогнозируемые площади с различными уровнями загрязнения цезием-137, на даты, кратные 10 годам после аварии, существенно уменьшаются [2]. При прогнозе учитывался физический распад цезия-137, а также эрозионные и русловые процессы, приводящие к горизонтальной миграции почвенной массы в долинах крупных рек. Следует учитывать, что выведение цезия-137 из корневоступного слоя в результате вертикальной миграции в почве, снижение его проникновения в биоту с течением времени (следовательно, и в пищевые цепочки) приведет к уменьшению опасности проживания и пребывания людей в каждой из зон радиоактивного загрязнения.

Табл. 2. Прогноз изменении площадей с различными уровнями радиоактивного загрязнения местности цезием-137 от аварии на Чернобыльской АЭС по России в целом (в км²)

Год	Площади (км ²) с различными уровнями загрязнения местности цезием-137, Ки/км ²			
	>40	15-40	5-15	1-5
2026	0	625	2700	15040
2036	0	190	2340	12500
2046	0	100	1500	10930

Из результатов прогноза следует, что уровни загрязнения более 15 Ки/км², наблюдавшиеся в настоящее время на территории Брянской области, могут окончательно исчезнуть в период от 70 до 100 лет после аварии. При этом отсутствует измеряемый перенос радионуклидов между ландшафтными комплексами. В настоящее время темпы снижения уровней радиоактивного загрязнения почв стабилизировались и составляют не более 3-5% в год.

Наиболее быстрое снижение уровней загрязнения наблюдается на акваториях рек и водоемов [3]. Это обусловлено высокими скоростями перемещения и процессами диспергирования радионуклидов и других опасных веществ в водной среде. Водорастворимая фракция радионуклидов за счет перемещения быстро распределяется во всей толще воды и во всех случаях не превышает допустимых значений. Нерастворимая фракция, которая тяжелее воды, оседает и сорбируется донными отложениями. Нерастворимая фракция, которая легче воды, в течение месяца за счет набегающей волны поглощается в почвенном слое вдоль берегов рек и водоемов. Воды и многие донные отложения практически во всех реках и водоемах, подвергшихся загрязнению в результате чернобыльской аварии, в настоящее время не представляет опасности для водопользования. Исключение составляют сильнозагрязненные донные

отложения нескольких озер, в том числе озера Кожановское (запасы цезия-137 около 100 Ки при площади зеркала 6,5 км²). Содержание цезия-137 в образцах донных рыб из данного водоема превосходит допустимые уровни.

Последствия облучения для растительного и животного мира были наиболее заметными в зонах отчуждения (уровни загрязнения свыше 40 Ки/км²). При высоких дозах облучения наблюдался повышенный уровень гибели деревьев хвойных пород, обитающих в почве млекопитающих и беспозвоночных животных, снижается также репродуктивная функция у растений и животных [4].

Таким образом, наибольшему загрязнению подвергаются лесные массивы, так как они выполняют роль фильтров, поглощающих опасные вещества на поверхности земного ландшафта [3]. Самоочищение лесов происходит только за счет естественного распада основного долгоживущего загрязнителя. Это обусловлено тем, основная масса опасных веществ оседает на кронах деревьев. Осенью вместе с опавшими листьями эти вещества уходят в почву, а затем за счет корневого поступления повторно загрязняют лесные массивы. Поэтому самоочищение лесов с учетом характеристик естественного распада основного загрязнителя цезия-137 может продлиться до трехсот лет [5].

Эти леса, подвергшиеся радиоактивному загрязнению, многие десятилетия остаются природными объектами радиационной опасности для населения, как с точки зрения потребления даров леса (грибы, ягоды), так и в случае возникновения лесных пожаров. Это связано с тем, что леса способствуют осаждению, задержке и сохранению радиоактивных веществ в 7-10 раз больше, чем другие типы растительности, и включают их в биологический круговорот веществ, предотвращая вертикальную и горизонтальную миграцию (таблица 3) [6,8].

Табл. 3 Динамика изменения площадей лесного фонда по зонам радиоактивного загрязнения в Брянской области, Га

Административный район (ОКТМО)	Год	Площадь лесов (га) по зонам радиоактивного загрязнения ¹³⁷ Cs					
		Всего	Менее 1 Ки/км ²	зона низкой степени загрязнения лесов (от 1 до 5 Ки/км ²)	зона средней степени загрязнения лесов (от 5 до 15 Ки/км ²)	зона высокой степени загрязнения лесов (от 15 до 40 Ки/км ²)	зона крайне высокой степени загрязнения лесов (свыше 40 Ки/км ²)
Гордеевский район (15611000000)	1991	9501	0	145	3716	5560	80
	1993	9501	0	509	4489	4503	0
	2000	9501	0	685	4383	4433	0
	2010	9501	72	1262	5938	2229	0
	2018	9501	72	1262	5938	2229	0
Злынковский район (15623000000)	1991	28470	60	487	4375	23002	546
	1993	28470	244	303	9292	18267	364
	2000	28470	244	408	10772	16949	97
	2010	28470	244	651	14459	13116	0
	2018	28470	263	2440	22598	3169	0
Красногорский район (15634000000)	1991	18018	34	2893	9144	4101	1846
	1993	18018	34	4240	9215	2971	1558
	2000	18018	34	4060	9488	2988	1448
	2010	18018	34	8681	6986	1522	795
	2018	18018	34	8639	7028	1522	795
Новозыбковский район (15640000000)	1991	25465	0	0	4640	18202	2623
	1993	25465	0	0	5963	16441	3061
	2000	25465	0	0	7202	17175	1088
	2010	25465	0	403	11707	12199	1156
	2018	25452	0	972	18442	6004	34

Кроме того, следует отметить, что в связи с нормативными ограничениями и отсутствием возможности проведения полного комплекса лесохозяйственных мероприятий в зонах с плотностью загрязнения почвы цезием-137 свыше 15 Ки/км² наблюдается потенциальное снижение биологической и противопожарной устойчивости насаждений от зон с низкой к зонам с высокой плотностью загрязнения почвы, что также является фактором риска возникновения пожаров с высокими уровнями радиоактивного загрязнения. Представленные в таблице 3 данные, позволяют обосновать прогноз дальнейшего спада радиоактивности на территории Брянской области [7,8] (Таблица 4).

Табл. 4. Прогноз содержания цезия-137 в лесной подстилке по зонам радиоактивного загрязнения на период до 2046 г., кБк/кг.

Административный район	год	Менее 1 Ки/км ²	от 1 до 5 Ки/км ²	от 5 до 15 Ки/км ²	от 15 до 40 Ки/км ²	свыше 40 Ки/км ²
Гордеевский	2018	1,093	4,676	10,790	22,329	-
	2021	1,020	4,554	11,341	23,727	-
	2026	0,909	4,656	11,132	22,123	М
	2031	0,809	4,442	10,672	20,973	-
	2036	0,721	4,237	10,411	20,842	-
	2041	0,642	3,948	9,691	19,166	-
	2046	0,848	3,932	9,429	18,096	-
Злынковский	2018	0,693	4,730	12,244	22,416	-
	2021	0,647	4,751	11,752	21,752	-
	2026	0,640	4,611	10,906	20,493	-
	2031	0,604	4,671	10,528	19,941	-
	2036	0,680	4,520	9,867	19,422	-
	2041	0,606	4,345	9,249	18,961	-
	2046	0,625	4,239	8,670	0,000	-
Красногорский	2018	0,300	3,709	9,541	28,396	118,512
	2021	1,005	3,673	9,466	27,672	110,577
	2026	0,895	3,577	9,444	27,836	108,488
	2031	1,022	3,489	9,693	29,298	102,053
	2036	1,012	3,305	9,481	29,660	94,559
	2041	0,935	3,146	9,248	29,861	91,465
	2046	0,918	3,102	9,245	26,604	81,488
Новозыбковский	2018	-	5,025	12,244	25,758	49,410
	2021	-	5,078	11,817	25,372	-
	2026	-	4,696	10,996	24,284	-
	2031	-	4,764	10,399	23,476	-
	2036	-	4,970	10,163	22,466	-
	2041	-	4,622	9,750	22,787	-
	2046	-	4,579	9,342	21,480	-

За период 2000-2018 годы в Брянской области зарегистрировано 4 234 случая лесных пожаров, общая площадь, пройденная пожарами, составила более 8 тыс. га. Общий ущерб от лесных пожаров за указанный период по нашим оценкам достиг 200 млн. рублей [17-22]. По данным ГУ МЧС по Брянской области в пожароопасный период 2019 г. зарегистрировано 5 292 термоточки, осуществлено 598 выездов лесопожарной службы. Площадь, пройденная лесными пожарами, составила 871 га, в том числе 197 га в приграничной километровой зоне.

Поступление радионуклидов в атмосферу за счёт горения лесной растительности представляет главную радиационную опасность для личного состава, участвующего в тушении пожара на территории радиоактивного загрязнения. В связи с этим при ликвидации лесных пожаров на территории радиоактивного загрязнения необходимо:

- по возможности максимально сократить число участников пожаротушения;

- организовать эффективный контроль за поступлением радионуклидов в атмосферу;
- обеспечить личный состав пожаротушения средствами индивидуальной защиты органов дыхания;
- по возможности использовать дистанционные средства пожаротушения, представленные на рисунке 1;
- при необходимости организовать дезактивацию техники, участвовавшей в пожаротушении.



Рис.1. Система дистанционной подачи мелкодисперсной водяной струи «СГТ»

Необходимость разработки и реализации стратегий по мониторингу, управлению лесными ресурсами и предотвращению лесных пожаров становится особенно актуальной в контексте прогнозируемого ухудшения ситуации с радиационным загрязнением. Важно учитывать, что самоочищение лесов происходит крайне медленно, и в условиях продолжающегося загрязнения, увеличение числа лесных пожаров может привести к значительным экологическим и социальным последствиям.

Таким образом, эффективное управление лесными ресурсами, постоянный мониторинг радиационной обстановки и разработка мер по предотвращению лесных пожаров являются ключевыми аспектами для обеспечения безопасности населения и сохранения экосистем в условиях радиационного загрязнения. Только комплексный подход к решению этих задач позволит минимизировать риски и защитить как природу, так и здоровье человека в долгосрочной перспективе.

Список источников

1. Израэль Ю.А., Ильин Л.А., Владимиров В.А. и др. Чернобыль: 25 лет спустя. М.: МЧС России, 2011.
2. Марадудин И.И. и др. Радиоактивное загрязнение различных ландшафтов. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси (АСПА Россия-Беларусь) / Под ред. Ю.А. Израэля и И.М. Богдевича. – Москва-Минск: Фонд «Инфосфера» – НИА-Природа, 2009 с85-108.
3. Малышев В.П. Работы ученых химических войск в начальном периоде ликвидации последствий катастрофы. Монография «Москва – Чернобыль». М.: Воениздат, 1998. с115-136.
4. Герасимова Н.В., Блинов Б.К., Зиборов А.М. Защита населения и реабилитация территорий пострадавших вследствие аварии на ЧАЭС. Глава книги «Чернобыль: 15 лет спустя», М., «Контакт-культура», 2001.
5. Авария на Чернобыльской АЭС и проблемы реабилитации сельскохозяйственных территорий / Н. И. Санжарова, А. Н. Ратников, С. В. Фесенко [и др.] // История науки и техники. – 2020. – № 7. – С. 73-89. – DOI 10.25791/intstg.07.2020.1199. – EDN LXMYOZ.
6. Наследие Чернобыля: медицинские, экологические и социально-экономические последствия и рекомендации правительствам Беларуси, Российской Федерации и Украины. Чернобыльский Форум: 2003-2005. Второе, исправленное издание.
7. 20 лет Чернобыльской катастрофы. Итоги и перспективы преодоления ее последствий в России. Российский национальный доклад. М., 2006.

8. Результаты современных радиационно-гигиенических обследований приграничных с Республикой Беларусь населенных пунктов Брянской области Российской Федерации. Часть 1: Характеристика населенных пунктов / И. К. Романович, А. Б. Базюкин, А. Н. Барковский [и др.] // Радиационная гигиена. – 2023. – Т. 16, № 3. – С. 22-36. – DOI 10.21514/1998-426X-2023-16-3-22-36. – EDN PBAGZR.

Информация об авторах

В.А. Дуганов – кандидат технических наук, доцент
В.П. Малышев – доктор химических наук, профессор

Information about the author

V.A. Duganov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
V.P. Malyshev – Doctor of Chemical Sciences, Professor

Статья поступила в редакция 15.06.2025, одобрена после рецензирования 09.07.2025, принята к публикации 25.09.2025.

The article was submitted 15.06.2025, approved after reviewing 09.07.2025, accepted for publication 25.09.2025.