

Пожарная и промышленная безопасность . Безопасность в ЧС

Научная статья

УДК 504.064.36:614.876

doi:10.34987/vestnik.sibpsa.2025.91.30.018

Анализ известного научно-методического аппарата для обоснования времени начала проведения аварийно-спасательных работ в зоне радиоактивного загрязнения местности после ядерного взрыва с учетом фактора спада мощности дозы гамма-излучения

Александр Иванович Мазаник¹

Иван Юрьевич Сергеев²

Глеб Александрович Николаев²

Светлана Петровна Бояринова²

¹Академия гражданской защиты МЧС России, Москва, Россия

²Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск, Россия

Автор ответственный за переписку: Глеб Александрович Николаев, 89082194153@mail.ru

Аннотация. В статье проведен анализ известного научно-методического аппарата для оценки времени начала проведения аварийно-спасательных работ в зоне радиоактивного загрязнения местности. По результатам проведенного анализа показан научно-методический подход к решению задачи обоснования наилучшего момента времени для начала проведения аварийно-спасательных работ с учетом фактора спада мощности дозы гамма-излучения после ядерного взрыва и принятых ограничений. По результатам проведенного анализа сделан вывод, что разработанные к настоящему времени положения и рекомендации составляют хотя и необходимую, но при этом недостаточную основу для решения задачи обоснования параметров проведения аварийно-спасательных работ в зоне радиоактивного загрязнения местности, после ядерного взрыва, так как не учитывают ряд дополнительных факторов, которые существенным образом могут повлиять на результаты решения. В частности, если к проведению аварийно-спасательных работ в зонах возможного радиоактивного загрязнения после ядерного взрыва необходимо приступить безотлагательно, то необходимо обосновать рациональный график работы личного состава, с учетом продолжительности рабочих смен и ограничений по резерву имеющихся сил и средств. Также существенным фактором при планировании аварийно-спасательных работ в зонах возможного радиоактивного загрязнения после ядерного взрыва является возникновение множественных участков для проведения аварийно-спасательных работ.

Ключевые слова: ядерный взрыв, радиация, гамма-излучение, радиоактивное загрязнение, аварийно-спасательные работы

Для цитирования: Мазаник А.И., Сергеев И.Ю., Николаев Г.А., Бояринова С.П. Анализ известного научно-методического аппарата для обоснования времени начала проведения аварийно-спасательных работ в зоне радиоактивного загрязнения местности после ядерного взрыва с учетом фактора спада мощности дозы гамма-излучения // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2025. № 1(36). С. 182-189. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2025.91.30.018>

Analysis of the well-known scientific and methodological apparatus for substantiating the start time of emergency rescue operations in the area of radioactive contamination of the area, taking into account the factor of decrease in the dose rate of gamma radiation after a nuclear explosion

Alexander I. Mazanik¹

Ivan Y. Sergeev²

Gleb A. Nikolaev²

Svetlana P. Boyarinova²

¹Civil Defense Academy EMERCOM of Russia, Moscow, Russia

²Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia

Corresponding author: Gleb A. Nikolaev, 89082194153@mail.ru

Abstract. The article analyzes the well-known scientific and methodological apparatus for estimating the start time of emergency rescue operations in the area of radioactive contamination. Based on the results of the analysis, a scientific and methodological approach to solving the problem of substantiating the best time to start emergency rescue operations is shown, taking into account the factor of a decrease in the dose rate of gamma radiation after a nuclear explosion and the accepted restrictions. Based on the results of the analysis, it was concluded that the provisions and recommendations developed to date constitute, although necessary, an insufficient basis for solving the problem of justifying the parameters of emergency rescue operations in the area of radioactive contamination of the area after a nuclear explosion, since they do not take into account a number of additional factors that can significantly affect the results of the decision.. In particular, if it is necessary to start emergency rescue operations in areas of possible radioactive contamination after a nuclear explosion without delay, then it is necessary to justify a rational work schedule for personnel, taking into account the duration of work shifts and limitations on the reserve of available forces and means. Also, an essential factor in planning emergency rescue operations in areas of possible radioactive contamination after a nuclear explosion is the emergence of multiple sites for emergency rescue operations.

Keywords: nuclear explosion, radiation, gamma radiation, radioactive contamination, emergency rescue

For citation: Mazanik A.I., Sergeev I.Y., Nikolaev G.A., Boyarinova S.P. Analysis of the well-known scientific and methodological apparatus for substantiating the start time of emergency rescue operations in the area of radioactive contamination of the area, taking into account the factor of decrease in the dose rate of gamma radiation after a nuclear explosion // Siberian Fire and Rescue Bulletin. 2025. № 1(36). С. 182-189. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2025.91.30.018>

Введение

Актуальность научных исследований в области обеспечения защиты населения от радиационных опасностей неуклонно возрастает, что подчеркивается в новой редакции Указа Президента Российской Федерации «Об утверждении Основ государственной политики Российской Федерации в области ядерного сдерживания» [1].

Разрешение администрации США на использование Украиной средств вооружения повышенной дальности для нанесения ударов по территории Российской Федерации [2] создает дополнительные риски возникновения аварий на радиационно опасных объектах в результате получения возможных повреждений. Обсуждается передача Украине технологий по разработке и применению ядерного оружия, возрастает угроза применения «грязной бомбы».

С учетом складывающейся военно-политической обстановки и возрастающей угрозы возможного применения ядерного оружия, актуальной задачей в области обеспечения защиты

населения от радиационных опасностей становится организация подготовки к проведению аварийно-спасательных работ в зонах возможного радиоактивного загрязнения местности.

Одним из значимых факторов при выявлении и оценке складывающейся радиационной обстановки, планировании проведения аварийно-спасательных работ в зонах возможного радиоактивного загрязнения местности является мощность дозы гамма-излучения, величина которой значительно возрастает сразу после ядерного взрыва и затем постепенно снижается в соответствии с законом изменения мощности дозы [17], что обуславливает наличие определенного противоречия в практической области:

- с одной стороны, необходимо как можно раньше приступить к проведению аварийно-спасательных работ в зоне возможного радиоактивного загрязнения, образовавшейся в результате ядерного взрыва;
- с другой стороны, нельзя допустить переоблучения личного состава формирований.

Результаты аналитического исследования

В связи с наличием обозначенного противоречия в практической области возникает необходимость формулировки соответствующей научной задачи, связанной с определением наилучшего момента времени t_1^* для начала аварийно-спасательных работ при заданных ограничениях на общую продолжительность их выполнения (до полного завершения) и величину максимальной дозы, которую может получить личный состав за время нахождения в зоне радиоактивного загрязнения.

Исходя из этого постановка данной задачи в формализованном виде выглядит следующим образом. При заданных:

P_0 – мощность дозы в момент времени t_0 после ядерного взрыва, Зв/ч;

$D_{уст}$ – установленная максимальная доза, которую может получить личный состав формирований при проведении аварийно-спасательных работ в зоне радиоактивного загрязнения, Зв;

$t_{раб}$ – время, необходимое для полного завершения аварийно-спасательных работ в зоне радиоактивного загрязнения, ч.

Требуется определить наилучший момент времени t_1^* для начала аварийно-спасательных работ в зоне радиоактивного загрязнения, такой, чтобы обеспечить минимальное время реагирования и не допустить переоблучения личного состава формирований:

$$t_1^* = f(P_0, P_{ср}, P_{пр}, D_{уст}, t_{раб}, K_{осл}) \rightarrow \min \quad (1)$$

где: $P_{ср}$ – среднее значение мощности дозы в период проведения аварийно-спасательных работ в зоне радиоактивного загрязнения;

$P_{пр}$ – предельное значение мощности дозы, при которой личный состав получит дозу не превышающую значение $D_{уст}$;

$K_{осл}$ – коэффициент ослабления в зависимости от условий выполнения аварийно-спасательных работ.

При подготовке статьи проанализирован научно-методический аппарат для обоснования параметров проведения аварийно-спасательных работ в зоне радиоактивного загрязнения местности, в том числе определения времени начала работы, описанный в источниках [3–19].

Сравнение функциональных зависимостей, характеризующих изменение мощности дозы $P_t(t) = P_0 t^{-n}$ с течением времени в зонах радиоактивного загрязнения местности, образовавшихся после ядерного взрыва и аварии на АЭС [15–17], в графическом виде показано на Рис.1.

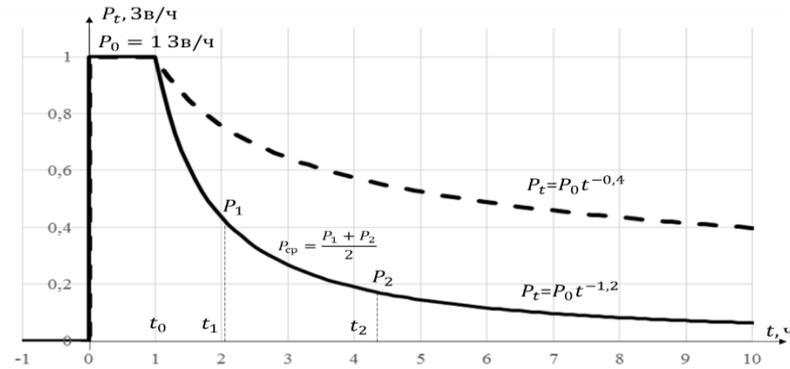


Рис. 1. Вид графиков функций изменения мощности дозы в зоне возможного радиоактивного загрязнения после ядерного взрыва и аварии на АЭС (показано пунктирной линией), где P_t – мощность дозы в момент времени t ; P_0 – мощность дозы в момент t_0 после ядерного взрыва (аварии на АЭС); n – показатель степени, характеризующий величину спада радиации во времени и зависящий от изотопного состава радионуклидов (при ядерном взрыве $n = 1,2$; при аварии на АЭС $n = 0,4$)

Значение мощности дозы $P_{пр}$, при которой личный состав получит дозу не превышающую установленное значение $D_{уст}$ вычисляется по формуле [15–17]:

$$P_{пр} = \frac{D_{уст} K_{осл}}{t_{раб}} \quad (2)$$

При этом необходимо также учитывать, что в процессе выполнения аварийно-спасательных работ мощность дозы будет постоянно снижаться, поэтому целесообразно оценивать среднее значение мощности дозы $P_{ср}$ на этом временном интервале по следующей формуле:

$$P_{ср} \leq P_{пр} \Rightarrow P_{ср} \leq \frac{D_{уст} K_{осл}}{t_{раб}} \quad (2)$$

С другой стороны, среднее значение мощности дозы $P_{ср}$ в процессе проведения аварийно-спасательных работ в зоне радиоактивного загрязнения можно вычислить по следующей формуле:

$$P_{ср} = \frac{P_1 + P_2}{2} = \frac{P_1 + P_1 t_{раб}^{-n}}{2} = \frac{P_1 (1 + t_{раб}^{-n})}{2} \Rightarrow P_1 = \frac{2 P_{ср}}{1 + t_{раб}^{-n}} \quad (3)$$

где: P_1 – мощность дозы в момент времени t_1 ;

P_2 – мощность дозы в момент окончания аварийно-спасательных работ ($P_2 = P_1 t_{раб}^{-n}$).

Мощность дозы P_1 в момент времени t_1 начала аварийно-спасательных работ вычисляется по формуле [15–17]:

$$P_1 = P_0 t_1^{-n} \Rightarrow t_1 = \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{-\frac{1}{n}} \quad (4)$$

С учетом выполненных преобразований и на основе подстановки выражений из формул (3), (4) и (5) рассчитаем наилучший момент времени t_1 для начала аварийно-спасательных работ при заданных ограничениях по следующей формуле:

$$t_1 = \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{-\frac{1}{n}} = \left(\frac{2 P_{ср}}{P_0 (1 + t_{раб}^{-n})} \right)^{-\frac{1}{n}} = \left(\frac{2 D_{уст} K_{осл}}{t_{раб} P_0 (1 + t_{раб}^{-n})} \right)^{-\frac{1}{n}} \quad (5)$$

В качестве практического примера численного решения данной задачи рассмотрим нахождение времени начала работ по разбору завалов в зоне радиоактивного загрязнения, образовавшейся в результате ядерного взрыва:

Спасательному отряду необходимо произвести разбор завалов в зоне радиоактивного загрязнения местности, образовавшейся в результате ядерного взрыва. На выполнение поставленной задачи потребуется $t_{\text{раб}} = 3$ ч. Через какое время t_1 после ядерного взрыва необходимо начать работу, чтобы личный состав не получил дозу выше $D_{\text{уст}} = 1$ Зв? Если известно, что после ядерного взрыва в момент времени t_0 мощность дозы в зоне радиоактивного загрязнения составляла $P_0 = 1,5$ Зв/ч.

На основе формулы (6) получим численное решение данной задачи

$$t_1 = \left(\frac{2D_{\text{уст}}K_{\text{осл}}}{t_{\text{раб}}P_0(1+t_{\text{раб}}^{-n})} \right)^{-\frac{1}{n}} = \left(\frac{2 \cdot 1 \cdot 1}{3 \cdot 1,5 \cdot (1+3^{-1,2})} \right)^{-\frac{1}{1,2}} \approx 2,4 \text{ ч} \approx 2 \text{ ч } 24 \text{ мин} \quad (6)$$

На Рис.2 показаны графики функции $t_1(P_0)$ при $t_{\text{раб}} = 3$ ч и различных заданных значениях $D_{\text{уст}} = 0,5 \dots 2$ Зв.

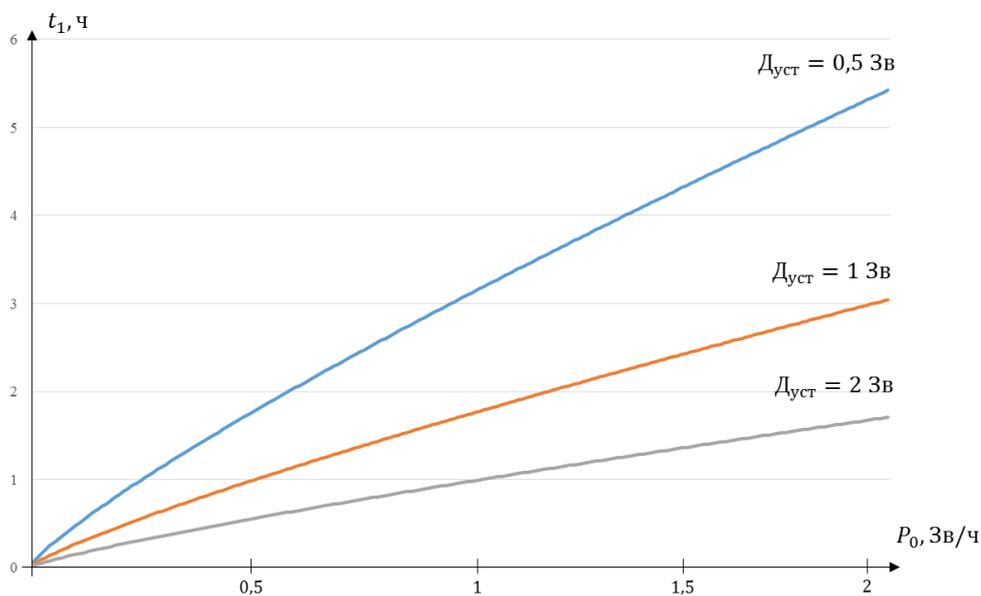


Рис.2. Графики функции $t_1(P_0)$ при $t_{\text{раб}} = 3$ ч и различных заданных значениях $D_{\text{уст}} = 0,5 \dots 2$ Зв

Заключение

Таким образом, проведенный анализ известного научно-методического аппарата обоснования времени начала проведения аварийно-спасательных работ в зоне радиоактивного загрязнения местности с учетом фактора спада мощности дозы после ядерного взрыва позволяет сделать вывод, что разработанные в настоящее время положения и рекомендации составляют хотя и необходимую, но при этом недостаточную основу, поскольку не учитывают ряд дополнительных факторов, которые существенным образом могут повлиять на результаты решения.

В частности, если к проведению аварийно-спасательных работ в зонах возможного радиоактивного загрязнения после ядерного взрыва необходимо приступить безотлагательно, то рассмотренная научная задача трансформируется в более сложную задачу обоснования рационального графика работы личного состава с учетом продолжительности рабочих смен и ограничений по резерву имеющихся сил и средств.

Существенным фактором при планировании аварийно-спасательных работ в зонах возможного радиоактивного загрязнения после ядерного взрыва является возникновение множественных участков для проведения аварийно-спасательных работ, в этом случае при ограниченном количестве личного состава в имеющейся группировке сил и средств

необходимо учитывать их распределение, рубежи ввода и последовательность выполняемых видов аварийно-спасательных работ на каждом участке с учетом их различной значимости.

В связи с этим задачи, связанные с обоснованием параметров проведения аварийно-спасательных работ в зонах возможного радиоактивного загрязнения, являются актуальными, а поиск их решений в совокупности представляет собой важную научно-техническую проблему.

Список источников

1. Указ Президента Российской Федерации от 19.11.2024 № 991 «Об утверждении Основ государственной политики Российской Федерации в области ядерного сдерживания» // Гарант.ру: информационный интернет-портал. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/410653348/> (дата обращения 10.01.2025).

2. США дали Украине указания по выбору целей для ударов по России // RBC.ru: сайт.- URL: <https://www.rbc.ru/politics/25/11/2024/6744d1af9a7947c63e5ef3b1> (дата обращения 12.10.2024).

3. Решение коллегии МЧС России от 04.12.2019 № 8/П «Об утверждении актуализированной редакции Концепции радиационной, химической и биологической защиты населения» // Гарант.ру: информационный интернет-портал. URL: <https://base.garant.ru/74762120/> (дата обращения 10.01.2025).

4. Свод правил СП 165.1325800.2014 «Инженерно-технические мероприятия по гражданской обороне» // Гарант.ру: информационный интернет-портал. URL: <https://base.garant.ru/70980726/> (дата обращения 10.01.2025).

5. Методические рекомендации по ликвидации последствий радиационных и химических аварий: В 2-х частях / Владимирова В.А., Лукьянченков А.Г., Павлов К.Н. [и др.], Под общей редакцией В.А. Владимирова. Том Часть 2. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России. – 2004. – С. 340.

6. Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009» // Гарант.ру: информационный интернет-портал. URL: <https://base.garant.ru/4188851/53f89421bbdaf741eb2d1ecc4ddb4c33/> (дата обращения 10.01.2025).

7. ГОСТ Р 8.596-200. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологическое обеспечение измерительных систем. Основные положения // Гарант.ру: информационный интернет-портал. URL: <https://base.garant.ru/5369680/> (дата обращения 10.01.2025).

8. Методические рекомендации Р 2.6.1.0050-11.2.6.1. «Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. Санитарно-гигиенические требования к мероприятиям по ликвидации последствий радиационной аварии» (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 25.12.2011).

9. Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 07.07.2009 № 47 «Об утверждении СанПиН 2.6.1.2523-09» (вместе с «НРБ-99/2009. СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности. Санитарные правила и нормативы») (Зарегистрировано в Минюсте РФ 14.08.2009 № 14534).

10. Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 26.04.2010 № 40 «Об утверждении СП 2.6.1.2612-10» (Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)) // Гарант.ру: информационный интернет-портал. URL: <https://base.garant.ru/12177986/53f89421bbdaf741eb2d1ecc4ddb4c33/> (дата обращения 10.01.2025).

11. Оперативная оценка доз облучения населения при радиоактивном загрязнении территории воздушным путем: Методические указания. – М.: Федеральное агентство по радиационной и экологической безопасности. – 2007. – С. 55.

12. Общие инструкции оценки и реагирования на радиологические аварийные ситуации. Международное агентство по атомной энергии МАГАТЭ // IAEA: сайт.- URL: <https://www.rbc.ru/politics/25/11/2024/6744d1af9a7947c63e5ef3b1> (дата обращения 10.01.2025).

13. Елохин А.П. Автоматизированные системы контроля радиационной обстановки окружающей среды: Учебное пособие. – М.: НИЯУ МИФИ. – 2012. – С. 316.

14. Рихвалов Л.П. Общие и региональные проблемы радиоэкологии. – Томск: Издательство Томского политехнического университета. – 1997. – С. 384.
15. Углова В.З. Оценка радиационной и химической обстановок в условиях техногенных и военных ЧС. Учебное пособие. – Саратов: ФГБОУ ВО Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского. – 2017. – С. 51.
16. Саулова Т.А., Бас В.И. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: Учебное пособие. – Красноярск: ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева». – 2017. – С. 143.
17. Справочник по поражающему действию ядерного оружия. Часть вторая. Министерство обороны СССР. – Москва: Военное издательство. – 1986. – С. 92.
18. Барбашев С.В., Пристер Б.С. Автоматизированные системы контроля радиационной обстановки: принципы построения и методы реализации // Ядерна та радіаційна безпека. – 2013. – № 1(57). С. 41–47.
19. Кюммель М. Разработка оптимальной сети измерений для проведения контроля окружающей среды на АЭС. // Обеспечение радиационной безопасности при эксплуатации АЭС. Кн.5. М.: Энергоатомиздат. – 1984. – С. 78–89.

References

1. Decree of the President of the Russian Federation of 19.11.2024 No. 991 ‘On Approval of the Fundamentals of the State Policy of the Russian Federation in the Field of Nuclear Deterrence’ // Garant.ru: information internet-portal. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/410653348/> (accessed 10.01.2025).
2. The USA gave Ukraine instructions on the choice of targets for strikes against Russia // RBC.ru: website – URL: <https://www.rbc.ru/politics/25/11/2024/6744d1af9a7947c63e5ef3b1> (accessed 10.01.2025).
3. Decision of the Board of the Ministry of Emergency Situations of Russia from 04.12.2019 № 8/II ‘On approval of the updated version of the Concept of radiation, chemical and biological protection of the population’ // Garant.ru: informational internet-portal. URL: <https://base.garant.ru/74762120/> (accessed 10.01.2025).
4. Code of rules SP 165.1325800.2014 ‘Engineering and technical measures for civil defence’ // Garant.ru: Internet information portal. URL: <https://base.garant.ru/70980726/> (accessed 10.01.2025).
5. Methodical recommendations on liquidation of consequences of radiation and chemical accidents: In 2 parts / Vladimirov V.A., Lukyanchenkov A.G., Pavlov K.N. [et al], Under the general editorship of V.A. Vladimirov. Volume Part 2. - Moscow: All-Russian Research Institute for Civil Defence and Emergency Situations of the Ministry of Emergency Situations of Russia. – 2004. – pp. 340.
6. Sanitary Rules and Regulations SanPiN 2.6.1.2523-09 ‘Radiation Safety Norms NRB-99/2009’ // Garant.ru: information internet-portal. URL: <https://base.garant.ru/4188851/53f89421bbdaf741eb2d1ecc4ddb4c33/> (accessed 10.01.2025).
7. GOST R 8.596-200. State system for ensuring the uniformity of measurements. Metrological support of measuring systems. Basic provisions // Garant.ru: information Internet-portal. URL: <https://base.garant.ru/5369680/> (accessed 10.01.2025).
8. Methodical recommendations R 2.6.1.0050-11.2.6.1. ‘Ionising radiation, radiation safety. Sanitary and hygienic requirements for measures to eliminate the consequences of a radiation accident’ (approved by the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation on 25.12.2011).
9. Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation dated 07.07.2009 №. 47 ‘On Approval of SanPiN 2.6.1.2523-09’ (together with ‘NRB-99/2009. SanPiN 2.6.1.2523-09. Radiation safety standards. Sanitary Rules and Regulations’) (Registered in the Ministry of Justice of the Russian Federation 14.08.2009 №. 14534).
10. Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation dated 26.04.2010 №. 40 ‘On Approval of SP 2.6.1.1.2612-10’ (Basic Sanitary Rules for Radiation Safety (OSPORB-99/2010)) // Garant.ru: information internet-portal. URL: <https://base.garant.ru/12177986/53f89421bbdaf741eb2d1ecc4ddb4c33/> (accessed 10.01.2025).

11. Operational assessment of public exposure doses in airborne radioactive contamination of the territory: Methodological instructions. - Moscow: Federal Centre of Hygiene and Epidemiology of Rosпотребнадзор. – 2007. – pp. 55.
12. General Instructions for Assessment and Response to Radiological Emergencies. International Atomic Energy Agency IAEA // IAEA: website. – URL: <https://www.rbc.ru/politics/25/11/2024/6744d1af9a7947c63e5ef3b1> (accessed 10.01.2025).
13. Elokhin A.P. Automated systems of environmental radiation situation control: Manual. – М.: NIAU MIFI. – 2012. – pp. 316.
14. Rikhvalov L.P. General and regional problems of radioecology. – Tomsk: Tomsk Polytechnic University Publishing House. – 1997. – pp. 384.
15. Uglanova V.Z. Estimation of radiation and chemical conditions in conditions of technogenic and military emergencies. Training manual. – Saratov: FGBOU VO Saratov National Research State University named after N.G. Chernyshevsky. – 2017. – pp. 51.
16. Saulova T.A., Bas V.I. Safety in emergency situations: Study guide. - Krasnoyarsk: FGBOU VO ‘Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev’. – 2017. – pp. 143.
17. Handbook on the defeat effect of nuclear weapons. Part two. Ministry of Defence of the USSR. - Moscow: Military Publishing House. – 1986. – pp. 92.
18. Barbashev S.V., Prister B.S. Automated systems of radiation situation control: principles of construction and methods of implementation // Nuclear and Radiation Safety. – 2013. – № 1(57). – pp. 41-47.
19. Kümmel M. Development of an optimal measurement network for environmental monitoring at NPPs. // Ensuring Radiation Safety at NPP Operation. Book 5. М.: Energoatomizdat. – 1984. – pp. 78-89.

Информация об авторах

А.И. Мазаник – доктор военных наук, профессор

И.Ю. Сергеев – кандидат технических наук

Г.А. Николаев – кандидат технических наук

Information about the author

A.I. Mazanik – Holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science) in Military Sciences, Full Professor

I.Y. Sergeev – Ph.D. of Engineering Sciences

G.A. Nikolaev – Ph.D. of Engineering Sciences

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 24.01.2025, одобрена после рецензирования 27.02.2025, принята к публикации 20.03.2025

The article was submitted 24.01.2025, approved after reviewing 27.02.2025, accepted for publication 20.03.2025.