

Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» <https://resources.today>  
Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling

2025, Том 12, № 3 / 2025, Vol. 12, Iss. 3 <https://resources.today/issue-3-2025.html>

URL статьи: <https://resources.today/PDF/03NZOR325.pdf>

DOI: 10.15862/03NZOR325 (<https://doi.org/10.15862/03NZOR325>)

1.6.21. Геоэкология (геолого-минералогические, географические науки)

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Коробейников, А. В. Анализ радиационного фона Краснодара: пространственное исследование и картографирование / А. В. Коробейников, А. Н. Пелина, М. В. Кузякина // Отходы и ресурсы. — 2025. — Т. 12. — № 3. — URL: <https://resources.today/PDF/03NZOR325.pdf>. DOI: 10.15862/03NZOR325.

**For citation:**

Korobeynikov A.V., Pelina A.N., Kuzyakina M.V. Analysis of the radiation background of Krasnodar: spatial research and mapping. *Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*. 2025;12(3): 03NZOR325. Available at: <https://resources.today/PDF/03NZOR325.pdf>. DOI: 10.15862/03NZOR325. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 550.42

**Коробейников Александр Владимирович**

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», Краснодар, Россия  
E-mail: deskruh@gmail.com  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3769-5106>

**Пелина Алина Николаевна**

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», Краснодар, Россия  
Доцент  
Кандидат географических наук  
E-mail: pelina\_a@mail.ru  
РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=405947](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=405947)

**Кузякина Марина Викторовна**

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», Краснодар, Россия  
Доцент  
Кандидат физико-математических наук  
E-mail: Marinavkuzyakina@gmail.com  
РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=522457](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=522457)

## **Анализ радиационного фона Краснодара: пространственное исследование и картографирование**

**Аннотация.** Проведено комплексное исследование радиационной обстановки на территории г. Краснодар. Цель работы: оценка пространственного распределения естественного ионизирующего излучения, апробация методики полевых измерений с использованием доступного оборудования, построение картографических моделей. Инструментом послужил дозиметр-радиометр HFS-20. Ключевой задачей стало определение оптимальной продолжительности единичного замера для минимизации погрешности, обусловленной статистическим разбросом показаний прибора в одной точке. Экспериментально установлено, что увеличение продолжительности измерения приводит к повышению точности получаемого значения. На основе 43 замеров длительностью  $\geq 30$  мин, выполненных в период с ноября 2024 г. по март 2025 г. с средним шагом сети 1,5–2,5 км, построены карты распределения мощности дозы излучения с использованием геоинформационной системы ArcMap 10.8, включая карту мест замеров, интерполяционную поверхность и карту средних значений по микрорайонам. Выявлена устойчивая пространственная закономерность: повышенные значения фона

(0,10–0,11 мкЗв/ч) характерны для зон плотной многоэтажной застройки и магистралей, пониженные (0,08–0,09 мкЗв/ч) — для парковых зон и окраин. Установлено, что вклад урбанизированной среды в повышение естественного фона не превышает 8 %. Среднее значение по городу составило 0,095 мкЗв/ч, что соответствует безопасному естественному диапазону. Отмечены ограничения (погрешность прибора, большой шаг сети), определяющие карты как инструмент оценки общих тенденций, а не локальных аномалий. Результаты свидетельствуют об отсутствии радиационных рисков для населения Краснодара.

**Ключевые слова:** радиационный фон; методика измерений; пространственное распределение; мощность дозы излучения; естественный фон; геоинформационное картографирование; Краснодар

## Введение

Контроль радиационного фона в городской среде является важной составляющей экологического мониторинга и оценки рисков для здоровья населения<sup>1</sup> [1; 2], особенно уровня заболеваемости онкологией [3]. Естественный фон формируется главным образом за счет природных радионуклидов, наибольший вклад из которых у радона.<sup>2</sup> Антропогенная деятельность (строительные материалы, транспорт, промышленность, медицинская деятельность [4]) может локально влиять на его уровень. Краснодар, как крупный южный мегаполис России, требует регулярного мониторинга своей радиационной обстановки.<sup>3</sup>

Представленное исследование направлено на комплексную оценку пространственного распределения радиоактивного излучения в г. Краснодар, разработку и подтверждение эффективности методологии измерений с применением доступного дозиметрического оборудования, а также формирование информативных картографических материалов.

В рамках исследования были поставлены следующие задачи:

1. Определение оптимальной продолжительности единичного измерения для достижения минимальной статистической погрешности.
2. Осуществление комплекса полевых измерений мощности дозы ионизирующего излучения с использованием геоинформационных систем (ГИС) для точной локализации точек измерений.
3. Создание серии карт радиационного фона с применением ГИС-технологий, что позволяет визуализировать пространственное распределение радиации.
4. Идентификация пространственных закономерностей и корреляций между мощностью излучения и характером городской среды, включая анализ влияния различных типов застройки.
5. Оценка роли антропогенных факторов в формировании радиационного фона и общей оценки радиационной безопасности территории, в соответствии с нормами радиационной безопасности [5].

<sup>1</sup> Сапожникова, Ю.А. Радиоактивность окружающей среды: теория и практика / Ю.А. Сапожникова, Р.А. Алиева, С.Н. Калмыкова. — Москва: Лаборатория знаний, 2020. — 289 с.

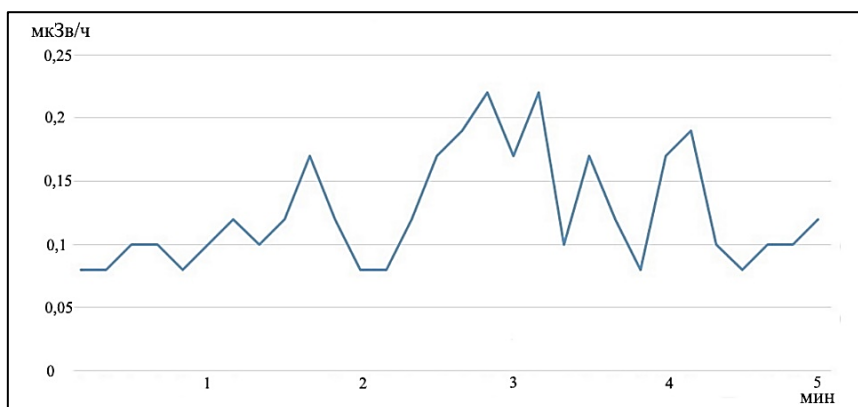
<sup>2</sup> Структура средней годовой дозы населения России на 2015 год по данным ФБУН НИИРГ имени П.В. Рамзаева «Дозы облучения населения Российской Федерации в 2015 году» / Информационный сборник. — СПб.: НИИРГ, 2016. — 73 с.

<sup>3</sup> Состояние окружающей среды в Краснодарском крае: Стат. сб. / Краснодарстат — Краснодар, 2016. — 62 с.

## Материалы и методы

Для измерения мощности эквивалентной дозы излучения использовался дозиметр-радиометр HFS-20. Прибор оснащен счетчиком Гейгера-Мюллера, чувствителен к бета-, гамма-излучению и рентгеновским лучам. Регистрируемые параметры: текущая мощность дозы (мкЗв/ч), средняя мощность дозы (мкЗв/ч), накопленная доза (мкЗв) и продолжительность замера. Основные технические характеристики соответствуют международным стандартам. Заявленная производителем погрешность измерений мощности дозы составляет -17 %...+25 %. Диапазон измерений от 0,8 мкЗв/ч до 50 мЗв/ч.

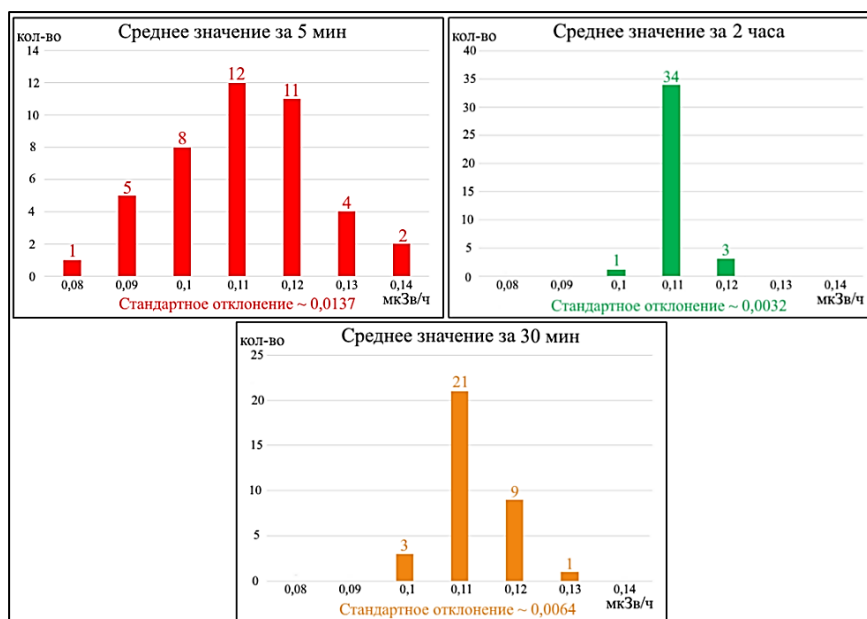
Определение оптимальной длительности замера [6]: предварительные наблюдения выявили значительные флуктуации показаний прибора в фиксированной точке во времени (рис. 1).



**Рисунок 1.** Пример колебания радиационного фона в одной точке замера в течение 5 мин по показаниям дозиметра HFS-20 (разработано автором)

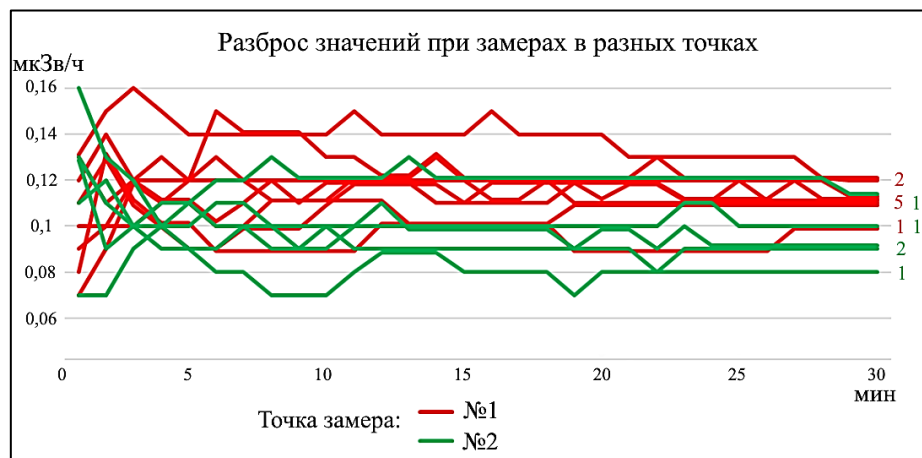
Для оценки влияния длительности измерения на стабильность результата проведена серия экспериментов:

Точка 1 (внутри здания): выполнялись последовательные замеры с фиксацией среднего значения через 5 мин, 30 мин и 2 часа после начала каждого измерения (рис. 2). После каждого замера показания сбрасывались.



**Рисунок 2.** Результаты средних показаний дозиметра при замерах на 5, 30 мин и 2 ч в одной точке (разработано автором)

Точка 2 (открытая местность, парк): выполнено 5 последовательных замеров на 30 мин с ежеминутной фиксацией среднего значения. Эти значения вместе с 8 замерами в точке 1 нанесены на график (рис. 3).



**Рисунок 3.** Сравнение показаний среднего значения дозиметра в двух точках (разработано автором)

Анализ стандартного отклонения выборок и построенные графики показали, что увеличение времени измерения до 30 мин существенно повышает стабильность и воспроизводимость результата.

Основная информация о полевых измерениях, выполненных в пределах городской территории:

1. Интервал проведения: натурные измерения осуществлялись в период с ноября 2024 года по март 2025 года.

2. Критерии проведения измерений: регистрация данных выполнялась исключительно при положительной температуре воздуха (свыше +2°C) и отсутствии каких-либо атмосферных осадков.

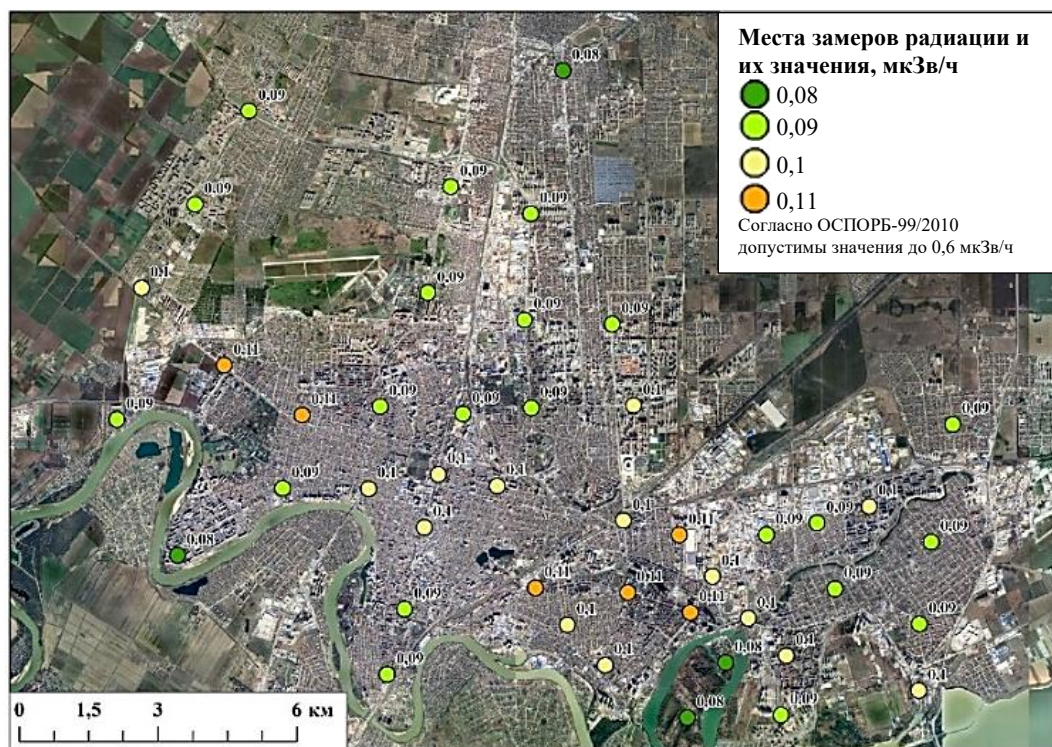
3. Методика измерений: в каждой точке измерений прибор располагался на открытом участке на высоте приблизительно 1 м от поверхности земли. Для определения мощности дозы использовалась встроенная функция прибора для подсчета среднего значения за время измерения. Первоначальный вариант с кратковременными замерами (3–5 мин) был отменен ввиду значительной вариабельности результатов при повторных измерениях, что согласуется с данными о влиянии времени экспозиции на точность измерений. В финальную сеть вошли 43 точки, для которых продолжительность измерений составляла  $\geq 30$  мин. В точках, демонстрирующих аномальные показания (в сравнении с соседними точками), проводились повторные измерения с последующим усреднением полученных значений. Все измерения были выполнены лично исследователем с использованием одного измерительного прибора.

4. Плотность сети измерений: пространственное разрешение сети измерений характеризовалось средним расстоянием между соседними точками в диапазоне 1,5–2,5 км.

## Результаты

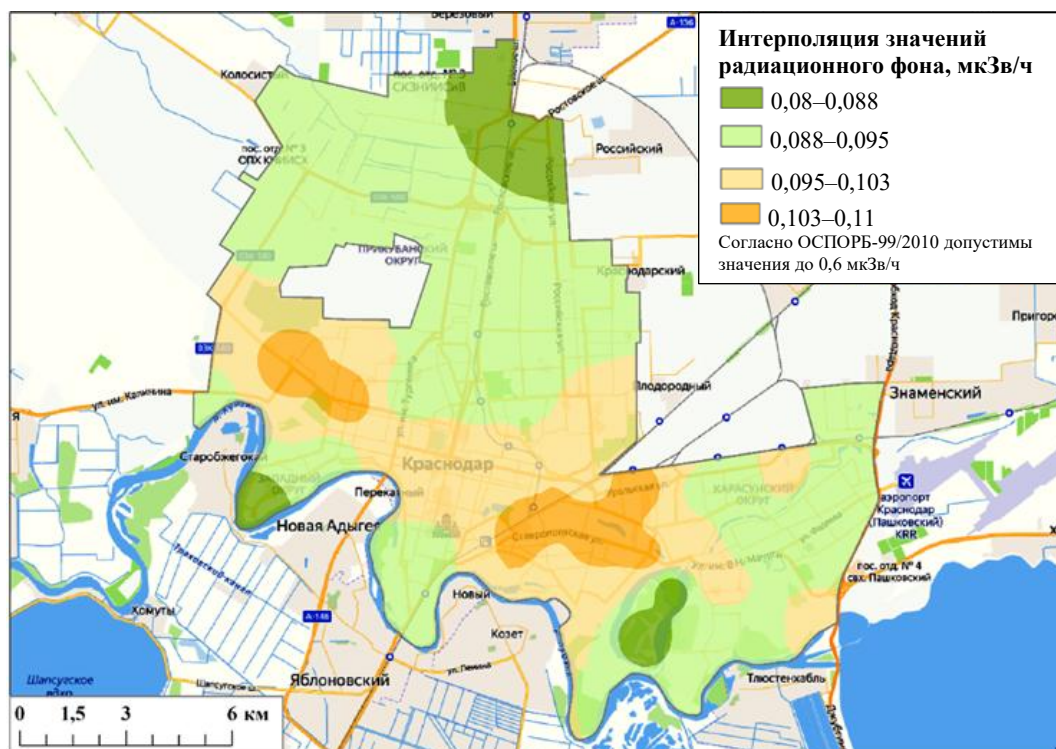
Картографирование и анализ данных производился в ГИС-программе ArcMap 10.8.

Карта мест фиксации: создан точечный слой с атрибутивным значением замеренной мощности дозы для каждой точки измерения (рис. 4).



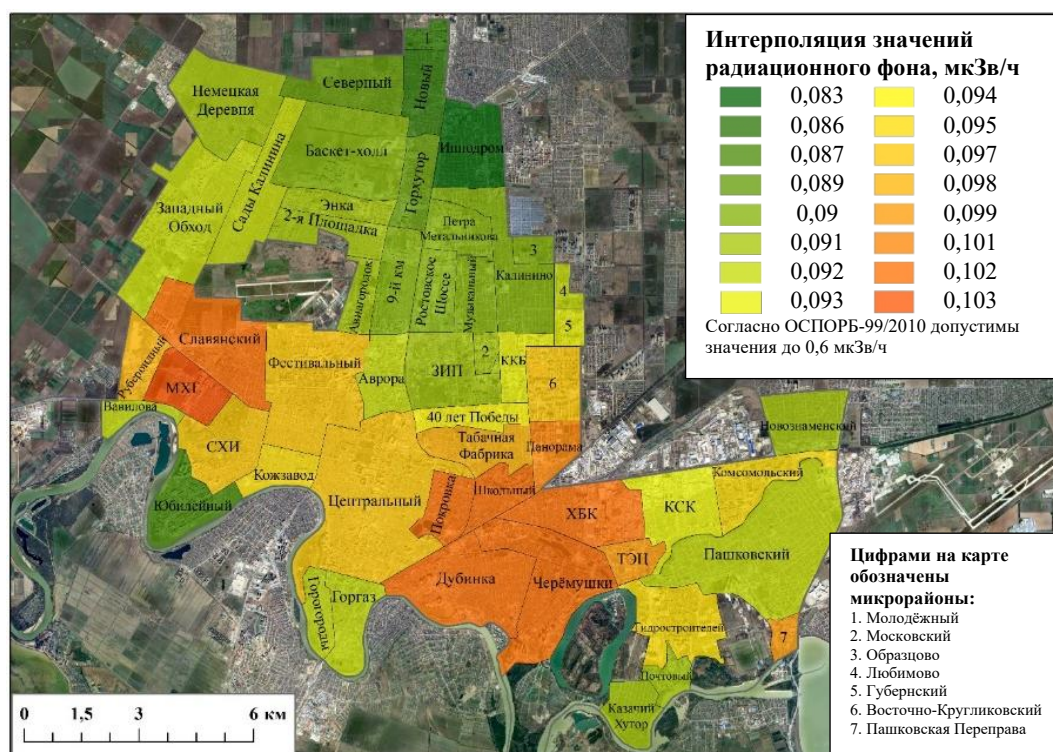
*Рисунок 4. Значения замеров радиационного фона в различных частях города (разработано автором с помощью программы ArcMap 10.8)*

Интерполяционная карта: построена поверхность распределения радиационного фона методом обратно взвешенных расстояний (IDW — Inverse Distance Weighting) на основе точечных данных (рис. 5). Контур интерполяции ограничен границей городской застройки и рекой Кубань.



*Рисунок 5. Карта интерполяции значений замеров радиационного фона (разработано автором с помощью программы ArcMap 10.8)*

Карта по микрорайонам: территория города разделена на 53 микрорайона. Растр интерполяции обрезался по контуру каждого микрорайона, вычислялось среднее значение фона в полученном растре, которое заносилось в атрибутивную таблицу полигонального слоя микрорайонов. Данные визуализированы методом количественного фона (рис. 6). С целью облегчения идентификации микрорайонов на карте, поверх полигонов были добавлены текстовые аннотации, отображающие их названия.



**Рисунок 6.** Карта среднего значения радиационного фона в микрорайонах Краснодара (разработано автором с помощью программы ArcMap 10.8)

Для выявления связи между интенсивностью городской застройки и показаниями дозиметра был проведен статистический анализ. Все валидные замеры в количестве 50 шт., включая точки вне основной сети, но со временем измерения  $\geq 30$  мин сгруппированы по типу окружающей застройки (многоэтажная, частный сектор, отсутствует) для расчета средних значений и оценки влияния урбанизации.

**Таблица 1**

**Радиационный фон в разрезе типов застройки**

Тип застройки	Количество замеров	Среднее значение (мкЗв/ч)
Многоэтажная	30	0,097
Частный сектор	13	0,093
Отсутствует	7	0,090
Всего	50	0,095

Разработано автором

**Обсуждение**

Результаты экспериментов по определению оптимального времени замера (рис. 2) однозначно демонстрируют снижение дисперсии показаний с увеличением длительности измерения, что также подтверждается результатами других исследований [7]. Стандартное отклонение за 5 мин замера значительно выше, чем за 30 мин и, тем более, 2 ч. Графики

динамики среднего значения (рис. 3) показывают, что после 15–20 мин измерения значение стабилизируется. На основании этого для основного этапа полевых работ выбран интервал 30 мин как оптимальный баланс между точностью (приемлемое стандартное отклонение) и ресурсоемкостью (время, возможность охвата территории одним оператором). Сравнение графиков в Точке 1 (здание) и Точке 2 (парк) (рис. 3) подтверждает общую тенденцию стабилизации и выявляет более высокий средний фон и меньший относительный разброс в здании по сравнению с открытой местностью.

Точечная карта (рис. 4) и интерполяционная поверхность (рис. 5) наглядно демонстрируют пространственную неоднородность радиационного излучения в Краснодаре. Выявлены зоны с относительно повышенными значениями (0,10–0,11 мкЗв/ч), преимущественно локализованные в районах плотной многоэтажной застройки в центре города и вдоль крупных транспортных магистралей. Наиболее низкие значения (0,08–0,09 мкЗв/ч) зафиксированы на периферийных территориях, в крупных парковых зонах и в районах с отсутствием плотной застройки.

Карта по микрорайонам (рис. 6) агрегирует данные до уровня административных единиц. Микрорайоны в центральной части города показывают значения в диапазоне 0,09–0,11 мкЗв/ч, тогда как окраинные микрорайоны — 0,08–0,09 мкЗв/ч. Наличие интерполированных значений для микрорайонов без единого замера на его территории позволяет получить более целостную картину, хотя и вносит дополнительную неточность. Схожий подход к анализу пространного распределения радиационного фона был успешно применен для урбанизированных территорий Ростовской области [8].

Группировка данных по типу застройки (табл. 1) количественно подтверждает визуально выявленную связь. Результаты показывают, что среда многоэтажной застройки характеризуется статистически значимо более высоким средним радиационным фоном (0,097 мкЗв/ч) по сравнению с территориями без застройки (0,090 мкЗв/ч). Аналогичная зависимость в районах с плотной многоэтажной застройкой была зафиксирована и в других крупных городах, например Санкт-Петербурге [9]. Разница составляет 0,007 мкЗв/ч, что позволяет утверждать, что вклад антропогенных факторов (строительные материалы, транспорт и пр.) в повышение естественного фона под открытым небом в г. Краснодар не превышает 8 %. Усредненное по всему ряду замеров значение (0,095 мкЗв/ч) уверенно находится в пределах типичного диапазона естественного радиационного фона.

К ограничениям точности и достоверности можно отнести использование одного прибора с относительно высокой заявленной погрешностью, что может является источником систематической погрешности. Это ограничивает точность абсолютных значений, хотя и позволяет надежно фиксировать относительные различия между точками.

Шаг сети: расстояние между точками замера (1,5–2,5 км) слишком велико для выявления локальных аномалий, размер которых меньше этого шага. Карты отражают только общие региональные тенденции.

Временной фактор: замеры проводились в разные месяцы, хоть и в относительно узком диапазоне погодных условий. Сезонные вариации не оценивались.

Несмотря на указанные ограничения, проведенная работа обеспечила получение репрезентативных данных для оценки общего уровня и пространственной картины радиационного фона на территории города.

## Заключение

Проведенное исследование позволило достичь поставленных целей и получить следующие основные выводы:

1. Экспериментально обоснована и применена методика измерения радиационного фона с использованием дозиметра HFS-20, ключевым элементом которой является использование длительности единичного замера не менее 30 мин для получения стабильного среднего значения и минимизации статистического разброса. Методика является оптимальным компромиссом для работ с одним прибором и оператором.

2. Среднее значение мощности эквивалентной дозы ионизирующего излучения на открытой местности г. Краснодар составило 0,095 мкЗв/ч, что соответствует безопасному уровню естественного фона<sup>4</sup> [10].

Выявлены устойчивые пространственные закономерности: повышенные значения (0,10–0,11 мкЗв/ч) характерны для зон плотной многоэтажной застройки и вблизи крупных автодорог; пониженные значения (0,08–0,09 мкЗв/ч) фиксируются на окраинах города и в парковых зонах.

Установлено, что вклад урбанизированной среды (многоэтажная застройка) в повышение естественного радиационного фона не превышает 8 %.

Значительных радиационных аномалий, представляющих угрозу для населения, на территории г. Краснодар не выявлено. Уровни фона не указывают на повышенный риск онкологических заболеваний, связанный с ионизирующим излучением в окружающей среде.

3. Построен комплекс карт (точечная, интерполяционная IDW, по микрорайонам), наглядно отображающих пространственное распределение радиационного фона. Карты являются информативным инструментом для визуализации общих тенденций, несмотря на ограниченную детальность, обусловленную шагом сети измерений.

4. Основными ограничениями работы являются погрешность прибора и пространственное разрешение сети замеров. Перспективы дальнейших исследований: использование профессионального оборудования, увеличение плотности сети, проведение сезонных замеров и кооперация с профильными организациями.

Таким образом, исследование вносит вклад в оценку экологического состояния городской среды Краснодара, предоставляет эмпирически обоснованные данные об уровне радиационного фона и его распределении, опровергает необоснованные опасения населения и демонстрирует применимость доступных инструментов для задач мониторинга при соблюдении данной методики.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Андрияшина, Т.В. Воздействие радиоактивного загрязнения на окружающую среду / Т.В. Андрияшина, Н.В. Шильникова // Вестник Казанского технологического университета. — 2011. — Т. 14. № 10. — С. 39–44.
2. Дьяковская, А.В. Влияние радиации на человека и окружающую среду / А.В. Дьяковская, Л.Р. Телекова // Наука, образование и культура. — 2018. — № 7(31). — С. 5–7.

---

<sup>4</sup> Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010): утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 26 апреля 2010 г. № 40: введ. 2011-01-01. — Москва: [б. и.], 2010. — 83 с.

Коренков, И.П. Радиационная гигиена: Учебник / И.П. Коренков, Б.Я. Наркевич, Л.А. Ильин. — Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2023. — 440 с.

3. Мурашко, Р.А. Динамика онкологической заболеваемости населения Краснодарского края / Р.А. Мурашко, А.М. Шматкова // Вопросы онкологии. — 2021. — Т. 67. № 5. — С. 630–634.
4. Бекетов, С.Н. Ионизирующее излучение в медицине: баланс между инновациями и безопасностью / С.Н. Бекетов // Вестник науки. — 2024. — Т. 1. № 5(74). — С. 643–646.
5. Андреев, С.Ю. Антропогенная нагрузка и формы государственного регулирования природоохранной деятельности в Краснодарском крае / С.Ю. Андреев // Молодой ученый. — 2017. — № 49(183). — С. 155–157.
6. Платов, А.В. Простейшие эколого-геофизические исследования (методика измерений радиационного фона) / А.В. Платов // Родники Подмосковья: опыт проведения полевых лагерей / сост. С.Э. Ермаков. — Москва: МООО «Экологический союз Подмосковья»: Изд-во «Ладога-100», 2006. — С. 150–156.
7. Variation of annual indoor and outdoor gamma dose rate in the lower Himalayan region of Reasi district of Jammu and Kashmir, India / Kumar A., Sharma S., Sharma D. // Radiation Protection and Environment. — 2023. — Т. 46, № 1. — С. 46.
8. Шаповалов, Е.С. Радиоактивность урбанизированных территорий Ростовской области / Е.С. Шаповалов, К.А. Калашникова, Е.Ю. Антонова и др. // Геополитика и экогеодинамика регионов. — 2022. — Т. 8(18). — С. 290–296.
9. Пузырев, В.Г. Особенности радиационного фона различных районов Санкт-Петербурга / В.Г. Пузырев, И.В. Васильева, Д.А. Земляной, Ю.Н. Капырина // Радиация и риск. — 2021. — Т. 30. № 3. — С. 32–45.
10. Иванов, И.А. Сравнительный анализ норм радиационной безопасности с радиационной защитой и безопасностью использования ионизирующего излучения МАГАТЭ / И.А. Иванов, М.А. Кубрак, К.А. Новиков // Современные проблемы физики, биофизики и инфокоммуникационных технологий: коллективная монография. — 2023. — С. 148–157.

**Korobeynikov Alexander Vladimirovich**

Kuban State University, Krasnodar, Russia  
E-mail: deskruх@gmail.com  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3769-5106>

**Pelina Alina Nikolaevna**

Kuban State University, Krasnodar, Russia  
E-mail: pelina\_a@mail.ru  
RSCI: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=405947](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=405947)

**Kuzyakina Marina Viktorovna**

Kuban State University, Krasnodar, Russia  
E-mail: Marinavkuzyakina@gmail.com  
RSCI: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=522457](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=522457)

## **Analysis of the radiation background of Krasnodar: spatial research and mapping**

**Abstract.** The comprehensive study of the radiation situation on the territory of Krasnodar was conducted. The purpose of the work: to evaluate the spatial distribution of natural ionizing radiation, to test field measurement techniques using available equipment, and to build cartographic models. The instrument was the HFS-20 dosimeter-radiometer. The key task was to determine the optimal duration of a single measurement to minimize the error caused by the statistical spread of the instrument readings at one point. It has been experimentally established that an increase in the measurement duration leads to an increase in the accuracy of the obtained value. Based on 43 measurements with a duration of  $\geq 30$  minutes, performed between November 2024 and March 2025 with an average network pitch of 1,5–2,5 km, radiation dose rate distribution maps were constructed using the ArcMap 10,8 geoinformation system, including a map of measurement locations, an interpolation surface, and a map of average values by micro-district. A stable spatial pattern has been revealed: increased background values (0,10–0,11  $\mu\text{Sv/h}$ ) are typical for areas of dense tall buildings and highways, while reduced values (0,08–0,09  $\mu\text{Sv/h}$ ) are typical for park areas and suburbs. It is established that the contribution of the urbanized environment to the increase of the natural background does not exceed 8 %. The average value for the city was 0,095 mSv/h, which corresponds to the safe natural range. Limitations are noted (instrument error, large network pitch) that define maps as a tool for assessing general trends rather than local anomalies. The results indicate that there are no radiation risks for the population of Krasnodar.

**Keywords:** radiation background; measurement technique; spatial distribution; radiation dose rate; natural background; geoinformation mapping; Krasnodar