



Кузмичев М.К.^{1,2}, Клепиков О.В.^{1,3,4}, Куролап С.А.³, Кульнев В.В.^{3,5},
Кизеев А.Н.⁶, Никанов А.Н.⁶

Оценка радиоактивности аэрозолей в атмосферном воздухе населённых мест

¹ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 394038, Воронеж, Россия;

²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет имени Н.Н. Бурденко» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 394036, Воронеж, Россия;

³ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет» Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 394018, Воронеж, Россия;

⁴ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 394036, Воронеж, Россия;

⁵Центрально-Чернозёмное межрегиональное управление Федеральной службы по надзору в сфере природопользования, 394087, Воронеж, Россия;

⁶ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 191036, Санкт-Петербург, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Напряжённая ситуация в мире создаёт потенциальную угрозу аварийных ситуаций на радиационно-опасных объектах в результате террористических или диверсионных действий, поэтому актуальны разработка и совершенствование методов оперативного контроля радиоактивных аэрозолей в атмосферном воздухе, а также мониторинг фоновых уровней α - и β -активности аэрозолей в местах расположения объектов атомной энергетики, добычи и переработки полезных ископаемых.

Цель исследования – оценка радиоактивности аэрозолей в атмосферном воздухе городов по показателям α - и β -активности (на примере Воронежа, Нововоронежа, Павловска, Липецка, Старого Оскола).

Материалы и методы. Отбор проб атмосферного воздуха осуществляли с использованием расходомера-пробоотборника газоаэрозольных смесей ПУ-5. Измерение α - и β -активности поверхностями фильтров АФА-РСР-20 проводили дозиметром-радиометром МКС-АТ1117М со сменными блоками детектирования БДПА-01 и БДПБ-01.

Результаты. По результатам выполненных измерений α - и β -активности аэрозолей в атмосферном воздухе во всех контрольных точках установлено, что α -активность аэрозолей составляет от $1,10 \cdot 10^{-3}$ до $6,75 \cdot 10^{-3}$ Бк/м³, общая (суммарная) β -активность – от $3,49 \cdot 10^{-3}$ до $2,12 \cdot 10^{-2}$ Бк/м³. Максимальные значения зафиксированы в контрольных точках вблизи разработки открытым способом Шкурлатовского месторождения гранита (окрестности г. Павловска Воронежской области).

Ограничения исследования. Ограничения исследования связаны с возможными погрешностями предложенной и апробированной нами методики, однократным (разовым) измерением, изменением метеорологических условий, влияющими на конкретный результат.

Заключение. Максимальные значения α - и β -активности аэрозолей в атмосферном воздухе населённых мест ($6,75 \cdot 10^{-3}$ и $2,12 \cdot 10^{-2}$ Бк/м³), полученные в результате разовых измерений, не представляют угрозы здоровью населения.

Ключевые слова: атмосферный воздух; загрязнение; аэрозоли; радиоактивность

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Для цитирования: Кузмичев М.К., Клепиков О.В., Куролап С.А., Кульнев В.В., Кизеев А.Н., Никанов А.Н. Оценка радиоактивности аэрозолей в атмосферном воздухе населённых мест. *Гигиена и санитария*. 2024; 103(8): 791–796. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-8-791-796> <https://elibrary.ru/htydvh>

Для корреспонденции: Кизеев Алексей Николаевич, канд. биол. наук, ст. науч. сотр. отд. социально-гигиенического анализа и мониторинга ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора, 191036, Санкт-Петербург. E-mail: a.kizeev@s-znc.ru

Участие авторов: Кузмичев М.К. – проведение измерений; Клепиков О.В. – обоснование точек измерений, анализ материалов инструментальных измерений, Куролап С.А. – концепция и дизайн исследования; Кульнев В.В. – общий анализ материала, подготовка выводов, подготовка и редактирование статьи; Кизеев А.Н. – существенный вклад в концепцию исследования, подготовку выводов, окончательное утверждение рукописи; Никанов А.Н. – существенный вклад в концепцию исследования, подготовку выводов, окончательное утверждение рукописи. *Все соавторы* – ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках проекта РНФ № 20-17-00172 (<https://rscf.ru/project/20-17-00172>).

Поступила: 03.05.2024 / Принята к печати: 19.06.2024 / Опубликована: 10.09.2024

Maksim K. Kuzmichev^{1,2}, Oleg V. Klepikov^{1,3,4}, Semyon A. Kurolap³, Vadim V. Kulnev^{3,5},
Aleksi N. Kizeev⁶, Aleksander N. Nikanov⁶

Assessment of aerosol radioactivity in the atmospheric air of populated areas

¹Center of Hygiene and Epidemiology in the Voronezh Region, Voronezh, 394038, Russian Federation;

²Voronezh State Medical University, Voronezh, 394036, Russian Federation;

³Voronezh State University, Voronezh, 394018, Russian Federation;

⁴Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, 394036, Russian Federation;

⁵Central Chernozem Interregional Department of the Federal Service for Supervision of Natural Resources, Voronezh, 394087, Russian Federation;

⁶North-West Public Health Research Center, St.-Petersburg, 394087, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Due to the tense situation in the world, which may lead to deliberate emergencies at radiation-hazardous facilities as a result of terrorist or sabotage actions, the availability of methods for operational control of radioactive aerosols in the atmospheric air, as well as knowledge of background levels of α - and β -activity of aerosols in the locations of nuclear power facilities, mining and processing facilities

The aim of the study was to assess the radioactivity of aerosols in the atmospheric air according to the indices of α - and β -activity (using the example of the cities of Voronezh, Novovoronezh, Pavlovsk, Lipetsk, Stary Oskol).

Materials and methods. Atmospheric air sampling was carried out using a flow meter-sampler of PU-5 aerosol mixtures. The α - and β -activity of the surface of the AFA-RSP-20 filters was measured with the MKS-AT1117M dosimeter-radiometer with interchangeable detection units BDPA-01 and BDPB-01.

Results. The results of measurements of aerosols α - and β -activity in the atmospheric air in all control points in the territories of populated places established the α -activity of the aerosols to vary from $1.10 \cdot 10^{-3}$ to $6.75 \cdot 10^{-3}$ Bq/m³, total (total) β -activity – from $3.49 \cdot 10^{-3}$ to $2.12 \cdot 10^{-2}$ Bq/m³. The maximum indices values took place at control points near the open-pit mining of the Shkurlatovsky granite deposit (near Pavlovsk, Voronezh region).

Limitations. The limitations of the study are related to possible errors of the proposed and tested methodology, single (one-time) measurements, variable meteorological conditions affecting a specific result.

Conclusion. The maximum values of aerosols α - and β -activity in the atmospheric air of populated areas are determined by the results of one-time measurements ($6.75 \cdot 10^{-3}$ Bq/m³ and $2.12 \cdot 10^{-2}$ Bq/m³) do not cause concerns for the health of the living population.

Keywords: atmospheric air, pollution, aerosols, radioactivity

Compliance with ethical standards. The study does not require the submission of the conclusion of the biomedical ethics committee or other documents.

For citation: Kuzmichev M.K., Klepikov O.V., Kurolap S.A., Kulnev V.V., Kizeev A.N., Nikanov A.N. Assessment of aerosol radioactivity in the atmospheric air of populated areas. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal.* 2024; 103(8): 791–796. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-8-791-796> <https://elibrary.ru/htydvh> (In Russ.)

For correspondence: Aleksei N. Kizeev – MD, PhD, senior researcher, Department of Social and Hygienic Analysis and Monitoring, North-West Public Health Research Center, St.-Petersburg, 394087, Russian Federation

Contribution: Kuzmichev M.K. – measurement; Klepikov O.V. – justification of measurement points, analysis of instrumental measurement materials; Kurolap S.A. – concept and design of the study; Kulnev V.V. – general analysis of the material, preparation of conclusions, preparation and editing of the article; Kizeev A.N., Nikanov A.N. – significant contribution to the concept of research, preparation conclusions, final approval of the manuscript. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgment. The study was carried out within the framework of the Russian Science Foundation (RSF) project No. 20-17-00172 (<https://rscf.ru/project/20-17-00172>).

Received: May 3, 2024 / Accepted: June 19, 2024 / Published: September 10, 2024

Введение

Радиоактивность атмосферного воздуха связана с присутствием радиоактивных изотопов газов и аэрозолей естественного и техногенного происхождения. Наибольший вклад в формирование радиационного фона вносят такие дозообразующие факторы, как излучение космического пространства и природные радиоизотопы земной коры. Техногенные источники повышения радиоактивности связаны с деятельностью человека (ядерные испытания, аварии на радиационно опасных объектах, разработка полезных ископаемых, содержащих радиоактивные природные элементы, и др.). Радиоактивные аэрозоли, содержащиеся в атмосферном воздухе, могут нанести вред здоровью, поэтому развитию и совершенствованию методов измерения радиоактивности воздуха уделяют большое внимание [1]. Радиационно опасные объекты имеют развитую систему стационарного и мобильного мониторинга окружающей среды [2, 3].

Взвешенные вещества, находящиеся в атмосферном воздухе и сорбируемые для анализа на фильтры, отражают короткоживущую α - и β -активность, которая может быть связана с наличием продуктов распада радона Rn²²², торона Rn²²⁰, урана U²³⁸ и U²³⁵, тория Th²³² [4–13]. Причиной

β -активности атмосферного воздуха может быть и присутствие природного радионуклида свинца Pb²¹⁰ [14, 15]. Согласно официальным документам^{1,2}, на территории России α -активность аэрозолей атмосферного воздуха составляет от 1,85 до 3,70 Бк/м³, а суммарная объёмная β -активность – от $1,0 \cdot 10^{-6}$ до $3,8 \cdot 10^{-3}$ Бк/м³.

Напряжённая ситуация в мире создаёт потенциальную угрозу аварийных ситуаций на радиационно опасных объектах в результате террористических или диверсионных действий, поэтому актуальны разработка и совершенствование методов оперативного контроля радиоактивных аэрозолей в атмосферном воздухе, а также мониторинг фоновых уровней α - и β -активности аэрозолей в местах расположения объектов атомной энергетики, добычи и переработки полезных ископаемых. Эти исследования активно проводятся в России и за рубежом [16–20].

¹ Инструктивно-методические указания по работе санитарно-эпидемиологических станций в области радиационной гигиены. Методические указания по отбору проб и определению радиоактивности аэрозолей в атмосферном воздухе. М: Медгиз, 1950. С. 56–62.

² МР 2.6.1.0028–11 Определение суммарной объёмной бета-активности атмосферного воздуха. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. 14 с.

Таблица 1 / Table 1

Альфа-активность аэрозолей в атмосферном воздухе, Бк/м³
 α -aerosol activity in atmospheric air, Bq/m³

Населённый пункт Settlement	Количество контрольных точек Number of control points	Интервал показателей (минимальный – максимальный), Бк/м ³ The interval of indicators (min-max), Bq/m ³		
		Общая активность Total activity	Активность короткоживущих радионуклидов Activity of short-lived radionuclides	Активность долгоживущих радионуклидов Activity of long-lived radionuclides
Нововоронеж / Novovoronezh	4	$1.10 \cdot 10^{-3} - 3.89 \cdot 10^{-3}$	$1.10 \cdot 10^{-3} - 3.89 \cdot 10^{-3}$	0
Павловск / Pavlovsk	3	$2.87 \cdot 10^{-3} - 3.49 \cdot 10^{-3}$	$2.87 \cdot 10^{-3} - 3.49 \cdot 10^{-3}$	0
Окрестности Павловска (п. Шкурлат-3, п. Гаврильские Сады) The surroundings of the city of Pavlovsk (the village of Shkurlat-3, the village of Gavrilsky Sady)	4	$2.94 \cdot 10^{-3} - 6.75 \cdot 10^{-3}$	$2.94 \cdot 10^{-3} - 6.75 \cdot 10^{-3}$	0
Воронеж / Voronezh	2	$1.53 \cdot 10^{-3} - 2.83 \cdot 10^{-3}$	$1.53 \cdot 10^{-3} - 2.83 \cdot 10^{-3}$	0
Липецк / Lipetsk	2	$1.68 \cdot 10^{-3} - 3.03 \cdot 10^{-3}$	$1.68 \cdot 10^{-3} - 3.03 \cdot 10^{-3}$	0
Старый Оскол / Stary Oskol	2	$1.82 \cdot 10^{-3} - 3.75 \cdot 10^{-3}$	$1.82 \cdot 10^{-3} - 3.75 \cdot 10^{-3}$	0

Таблица 2 / Table 2

Бета-активность аэрозолей в атмосферном воздухе, Бк/м³
 β -aerosol activity in atmospheric air, Bq/m³

Населённый пункт Settlement	Количество контрольных точек Number of control points	Интервал показателей (минимальный – максимальный), Бк/м ³ The interval of indicators (min-max), Bq/m ³		
		Общая активность Total activity	Активность короткоживущих радионуклидов Activity of short-lived radionuclides	Активность долгоживущих радионуклидов Activity of long-lived radionuclides
Нововоронеж / Novovoronezh	4	$3.49 \cdot 10^{-3} - 1.03 \cdot 10^{-2}$	$3.26 \cdot 10^{-3} - 1.00 \cdot 10^{-2}$	$1.57 \cdot 10^{-4} - 2.24 \cdot 10^{-3}$
Павловск / Pavlovsk	3	$5.22 \cdot 10^{-3} - 9.15 \cdot 10^{-3}$	$4.12 \cdot 10^{-3} - 5.89 \cdot 10^{-3}$	$1.10 \cdot 10^{-3} - 3.85 \cdot 10^{-3}$
Окрестности Павловска (п. Шкурлат-3, п. Гаврильские Сады) The surroundings of the city of Pavlovsk (the village of Shkurlat-3, the village of Gavrilsky Sady)	4	$5.20 \cdot 10^{-3} - 2.12 \cdot 10^{-2}$	$4.87 \cdot 10^{-3} - 1.80 \cdot 10^{-2}$	$3.53 \cdot 10^{-4} - 4.75 \cdot 10^{-3}$
Воронеж / Voronezh	2	$5.81 \cdot 10^{-3} - 6.79 \cdot 10^{-3}$	$3.61 \cdot 10^{-3} - 4.28 \cdot 10^{-3}$	$2.20 \cdot 10^{-3} - 2.51 \cdot 10^{-3}$
Липецк / Lipetsk	2	$5.72 \cdot 10^{-3} - 6.81 \cdot 10^{-3}$	$3.59 \cdot 10^{-3} - 4.33 \cdot 10^{-3}$	$2.18 \cdot 10^{-3} - 2.59 \cdot 10^{-3}$
Старый Оскол / Stary Oskol	2	$5.35 \cdot 10^{-3} - 8.97 \cdot 10^{-3}$	$4.02 \cdot 10^{-3} - 5.39 \cdot 10^{-3}$	$1.02 \cdot 10^{-3} - 3.78 \cdot 10^{-3}$

Цель исследования – оценка радиоактивности аэрозолей в атмосферном воздухе городов по показателям α - и β -активности (на примере Воронежа, Нововоронежа, Павловска, Липецка, Старого Оскола).

Материалы и методы

Для измерения α - и β -активности поверхности фильтра использовали метрологически поверенное оборудование и средства измерений ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области»: аспиратор ПУ-5, фильтры АФА-РСП-20, дозиметр-радиометр МКС-АТ1117М с блоками детектирования БДПА-01, БДПБ-01. Для определения изучаемых показателей одновременно аспирировали не менее 2 м³ воздуха с помощью электроаспиратора ПУ-5.

Поверхность фильтров АФА-РСП-20 трижды исследовали сначала на α -, затем на β -активность: первое измерение – до аспирации воздуха для оценки активности чистого фильтра, второе – через 20 мин после отбора пробы, третье – на четвёртые сутки (через 96 ч после отбора пробы). При выборе объёмов аспирируемого воздуха и периодов измерений использованы положения инструктивно-методических указаний¹.

Количество импульсов (импульсов/с на см²), отображаемых на дисплее МКС-АТ1117М при достижении погреш-

ности в 10%, пересчитывали с учётом площади фильтра 19,63 см² и объёма аспирированного воздуха. Определяли разность результатов, полученных через 20 мин и через 96 ч, которая характеризует активность короткоживущих α - и β -изотопов (Бк/м³)¹.

В результате перевода показаний радиометра с использованием расчётных формул определяли α - и β -активность короткоживущих и долгоживущих радионуклидов, а также общую активность. Данные обобщали по населённым пунктам.

Авторами адаптирована методика¹ для использования современного оборудования ввиду более простой её реализации по сравнению с предлагаемой в МР 2.6.1.0028–11².

Следует отметить, что для снижения неопределённостей измерений, связанных с меняющимися метеорологическими условиями, измерения осуществляли в дни без атмосферных осадков.

При обосновании ряда точек измерений учитывали наличие объектов – потенциальных источников поступления радиоактивных веществ в атмосферный воздух. В Нововоронеже и его окрестностях это Нововоронежская АЭС (четыре контрольные точки); в Павловске, посёлках Шкурлат-3 и Гаврильские Сады – разработка Шкурлатовского месторождения гранита открытым способом ОАО «Павловск-Неруд» (семь контрольных точек); в Старом Осколе – разработка

месторождения железной руды открытым способом АО «Стойленский горно-обогатительный комбинат» группы «НЛМК» (две контрольные точки); в Липецке – металлургическое предприятие полного цикла ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат» (две контрольные точки); в Воронеже – две контрольные точки (промышленный и условно благополучный селитебный район). Разовые измерения проведены в семнадцати контрольных точках, повторные измерения (в тех же точках для оценки динамики ситуации, возможных неопределенностей и погрешностей измерений) – в шести контрольных точках (четыре точки – в Нововоронеже, две – в Воронеже).

Результаты

Показания дозиметра-радиометра при измерении α -активности поверхности фильтров для чистого фильтра имели нулевое значение, после отбора пробы в первом измерении через двадцать минут после отбора – от 0,28 до 1,72 импульсов/с на см², во втором измерении через 96 ч после отбора – от 1,65 до 3,15 импульсов/с на см²; при оценке β -активности – для первого измерения показания прибора составляли от 2,70 до 7,74 импульсов/с на см²; для второго измерения – от 1,65 до 3,15 импульсов/с на см².

Установлено, что максимальная величина общей α -активности аэрозолей в атмосферном воздухе характерна для контрольной точки № 11 (посёлок Шкурлат-3, в непосредственной близости от разработки Шкурлатовского месторождения гранита) – $6,75 \cdot 10^{-3}$ Бк/м³, минимальная – $1,10 \cdot 10^{-3}$ Бк/м³ в контрольной точке № 2 Нововоронежа (табл. 1).

Атомная электростанция в Нововоронеже никак не повлияла на α -активность аэрозолей в атмосферном воздухе. Вместе с тем полученное максимальное значение α -активности аэрозолей в атмосферном воздухе в контрольной точке № 11 связано, вероятно, с разработкой Шкурлатовского месторождения гранита. Контрольная точка № 11 расположена на въезде в п. Шкурлат-3 по технологической дороге (начало одноэтажной жилой застройки), соединяющей Павловск, действующий карьер Шкурлатовского месторождения гранита, действующий и недействующий отвалы. Покрытие технологической дороги выполнено из отходов гранитной крошки. Эту дорогу жители посёлка Шкурлат-3 по согласованию с ОАО «Павловск-Неруд» активно используют для сокращения пути в Павловск. Расстояние от точки № 11 до недействующего (закрытого) отвала составляет примерно 300 м. Ситуационное расположение контрольной точки № 11 обуславливает запылённость атмосферного воздуха частицами гранитной крошки при проезде автотранспорта, α -активность долгоживущих радионуклидов здесь нулевая, что вполне закономерно.

Интервал значений показателя общей (суммарной) β -активности аэрозолей в атмосферном воздухе – от $3,49 \cdot 10^{-3}$ до $2,12 \cdot 10^{-2}$ Бк/м³ (табл. 2).

Наибольшие значения α - и β -активности получены также в контрольной точке № 11 (п. Шкурлат-3). Повторные измерения выполнены в шести контрольных точках (четыре в Нововоронеже, две – в Воронеже). Сравнительный анализ полученных результатов с предыдущими показывает различия показателя общей (суммарной) активности: в сторону увеличения от 4,5 до 35,8%, в сторону уменьшения – от 9,3 до 41%. Такие различия могут быть связаны в первую очередь с фактическими метеоусловиями, а также с неопределённостями и возможными погрешностями применённой нами методики.

Обсуждение

По результатам выполненных измерений α - и β -активности аэрозолей в атмосферном воздухе во всех контрольных точках Воронежа, Нововоронежа, Павловска, Липецка, Старого Оскола и их окрестностей установлено, что

α -активность составляет от $1,10 \cdot 10^{-3}$ до $6,75 \cdot 10^{-3}$ Бк/м³, общая (суммарная) β -активность – от $3,49 \cdot 10^{-3}$ до $2,12 \cdot 10^{-2}$ Бк/м³. Интервал значений показателей α -активности ниже, чем по России в целом, а интервал значений показателей β -активности – выше.

Следует отметить, что наши результаты являются разовыми измерениями: 17 контрольных точек – 17 измерений, 6 повторных измерений в 6 контрольных точках. Эти результаты следует оценивать как ориентировочные, поскольку показатели радиоактивности аэрозолей в атмосферном воздухе во многом зависят от времени года и складывающихся на момент измерений метеорологических условий [4, 5, 14, 21].

Неопределённости, присущие любому исследованию, в настоящей работе также связаны с использованием экспериментальной (неаттестованной) методики, однако были применены метрологически поверенные средства измерений и отбора проб.

В рамках статьи хотелось бы поднять дискуссионный вопрос. В настоящее время действующими методическими документами для центров гигиены и эпидемиологии в субъектах Российской Федерации являются МР 2.6.1.0028–11, однако их использование при оперативном контроле суммарной объёмной β -активности атмосферного воздуха (п. 1.4) силами радиологических лабораторий подведомственных учреждений Роспотребнадзора затруднено. Так, в п. 6.1 данного документа говорится о том, что для отбора проб атмосферного воздуха аспиратор устанавливается на высоте не менее 10 м от поверхности земли, что весьма проблематично на практике. В п. 6.4 указывается, что для достоверного определения суммарной объёмной β -активности в пробах атмосферного воздуха на уровне 10^{-4} Бк/м³ минимальный объём отбираемых проб воздуха должен составлять не менее 2500 м³. Мобильными средствами отбора проб воздуха, которые имеются в организациях Роспотребнадзора, выполнить это практически невозможно, и речь может идти только о стационарной аспирационной установке. В п. 6.5 указывается, что для оперативного отбора проб атмосферного воздуха наиболее подходящими являются аспираторы с диаметром рабочей поверхности фильтров 150 мм и более. Согласно допущениям МР 2.6.1.0028–11, минимально используемый диаметр фильтра – 50 мм. Время пробоотбора на такой фильтр должно быть 180 ч. Обзор наиболее распространённых средств отбора проб воздуха в подведомственных Роспотребнадзору организациях показывает, что, как правило, имеются аспиратор ПА-300М-2 с диаметром фильтра 50 мм (время отбора пробы ограничено 99 мин), аспиратор Бриз-4 с диаметром фильтра 50 мм (продолжительность непрерывной работы при полностью заряженных аккумуляторах – не менее 4 ч), аспиратор АВА 3-240-01С5 с диаметром фильтра 70 мм (устанавливаемое время – от 5 до 30 мин). Таким образом, ни один из приборов не может работать в непрерывном режиме 180 ч и прокачать 2500 м³ воздуха за один отбор.

В перечне предлагаемого лабораторного оборудования по состоянию на 2024 г. нам не удалось найти аспираторов или фильтродержателей с фильтрами 150 мм и более. Максимальные диаметры фильтров, фильтродержателей (аллонжей ИРА), предлагаемые поставщиками, – 50 и 70 мм. Считаем целесообразным пересмотр действующих методических рекомендаций с учётом более ранних, поскольку в них минимальный объём отбираемой пробы воздуха для определения показателей α - и β -активности аэрозолей указан 2 м³, что может быть востребовано учреждениями Роспотребнадзора.

Полученные нами значения α - и β -активности аэрозолей в атмосферном воздухе могут служить фоновыми для обследованных территорий населённых мест.

Перспективным направлением научных изысканий можно считать идентификацию в атмосферном воздухе конкретных радионуклидов, поскольку показатели α - и β -активности аэрозолей являются суммарными характеристиками [5, 8, 10, 14].

Заклучение

Проведённое исследование радиоактивности аэрозолей в атмосферном воздухе населённых мест (Воронеж, Павловск, Нововоронеж, Липецк, Старый Оскол) по показателям α - и β -активности показало, что α -активность аэрозолей лежит в интервале от $1,10 \cdot 10^{-3}$ до $6,75 \cdot 10^{-3}$ Бк/м³, общая (суммарная) β -активность – от $3,49 \cdot 10^{-3}$ до $2,12 \cdot 10^{-2}$ Бк/м³. Максимальные значения показателей были определены в контрольных точках вблизи разработки открытым способом Шкурлатовского месторождения гранита (посёлок Шкурлат-3 Павловского административного района Воронежской области, контрольная точка при въезде в посёлок по технологической дороге, расстояние примерно 300 м от отвала,

одноэтажная индивидуальная жилая застройка). Вероятно, пылевая фракция, присутствующая в атмосферном воздухе в непосредственной близости от разработки Шкурлатовского месторождения гранита, источниками которой являются действующий и недействующий отвалы, дробильно-сортировочное производство, периодические взрывы в карьере, движение технологического транспорта по дороге с покрытием из отходов производства гранитного щебня, является определяющим фактором повышения α - и β -активности аэрозолей атмосферного воздуха по сравнению с другими точками измерений. Следует отметить, что определённые по результатам разовых измерений максимальные значения α - и β -активности ($6,75 \cdot 10^{-3}$ и $2,12 \cdot 10^{-2}$ Бк/м³ соответственно) безопасны для здоровья человека.

Литература

(п.п. 3, 8–10, 14, 15, 20 см. References)

1. Кокс М., Хувер М.Д., Гриво Л., Джонсон М., Ньютон Дж.Дж., Фертман Д.Е. и др. Измерение радиоактивности в воздухе. Международный обзор стандартов. *Ядерные измерительно-информационные технологии*. 2003; (3): 61–71.
2. Крышев И.И., Булгаков В.Г., Крышев А.И., Каткова М.Н., Сазыкина Т.Г., Павлова Н.Н. и др. Мониторинг радиоактивности приземного слоя воздуха и атмосферных выпадений в районе расположения АЭС. *Атомная энергия*. 2019; 126(4): 228–34. <https://elibrary.ru/wdsvda>
4. Яковлев Г.А., Яковлева В.С. Особенности сезонной динамики изотопов радона в приземной атмосфере. *Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки*. 2020; 31(2): 129–38. <https://doi.org/10.26117/2079-6641-2020-31-2-129-138> <https://elibrary.ru/xocsdw>
5. Артамонов Ю.Е., Мустафина Е.В., Бакланова Ю.В. Определённые сезонные изменения концентрации изотопов радона на территории города Курчатова. *Вестник НЯЦ РК*. 2022; (4): 41–50. <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2022-4-41-50> <https://elibrary.ru/ufjlbv>
6. Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Ревазов М.О. Взаимосвязь эманации радона с уровнем внешнего воздействия на основе мониторинга крупных оползней в горных районах. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2021; 13(4): 564–75. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2021-13-4-564-575> <https://elibrary.ru/ovuxrx>
7. Карпин В.А. Современные экологические аспекты естественной эманации изотопов радона: обзор литературы. *Экология человека*. 2020; (6): 34–40. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-6-34-40> <https://elibrary.ru/dxmxsy>
11. Никифоров Д.В., Межова Л.А., Кульнев В.В., Луговской А.М., Никанов А.Н., Кизеев А.Н. и др. Здоровье населения радоноопасных территорий. *Экология человека*. 2019; (1): 40–50. <https://elibrary.ru/zdcayh>
12. Куршина Г.Ю., Кравченко Л.Ю., Кульнев В.В. К вопросу об экологической безопасности атомных станций. В кн.: Косинова И.И., ред. *Материалы Международного молодежного форума «Образование, экология, практика»*. Воронеж; 2018: 181–6. <https://elibrary.ru/xrxilb>
13. Кизеев А.Н., Кульнев В.В., Кульнева Е.М. Роль радиобиологических исследований в реализации эколого-геохимической функции литосферы. В кн.: *Материалы восьмой научно-практической конференции «Экологическая геология: теория, практика и региональные проблемы»*. Воронеж; 2023: 28–32. <https://elibrary.ru/gebjbq>
16. Фоменко В.А., Соколов А.А., Мирошников А.С., Ранджан А., Лукьянов А.С. Развитие методов геоэкологического мониторинга эманаций радона на выведенных из эксплуатации хвостохранилищах горно-обогатительных комбинатов. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2023; (6): 139–52. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_6_0_139 <https://elibrary.ru/jdlmwy>
17. Еркушов В.Ю., Шибалева С.А., Рябинин А.И. Суммарная бета-радиоактивность в атмосферных выпадениях и аэрозолях Крыма в XXI веке. *Системы контроля окружающей среды – 2016. Тезисы докладов Международной научно-технической конференции*. Севастополь; 2016. <https://elibrary.ru/xseaeef>
18. Тентюков М.П. Оценка удельной активности искусственных и естественных радионуклидов в стоке сухих аэрозолей. *Вестник института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН*. 2011; (4–5): 12–7. <https://elibrary.ru/tknblh>
19. Бурева Е.А., Зорина Л.В., Рогов В.П., Стасов В.В., Скоржинский Д.А. Естественная радиоактивность приземного слоя воздуха г. Ростова-на-Дону. *Глобальная ядерная безопасность*. 2012; (1): 22–31. <https://elibrary.ru/pfwlrlj>
21. Никанов А.Н., Гудков А.Б., Томассен И., Чашин В.П., Попова О.Н. Естественный радиационный фон в жилых и общественных зданиях в районах проведения горных работ в Арктике. *Журнал медико-биологических исследований*. 2022; 10(4): 363–71. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z114>

References

1. Cox M., Hoover M.D., Grivo L., Johnson M., Newton J.J., Fertman D.E., et al. Measurement of radioactivity in air. International review of standards. *Yadernye izmeritel'no-informatsionnye tekhnologii*. 2003; (3): 61–71. (in Russian)
2. Kryshev I.I., Bulgakov V.G., Kryshev A.I., Katkova M.N., Sazykina T.G., Pavlova N.N., et al. Radioactivity monitoring of the surface air layer and atmospheric fallout near NPP. *Atomnaya energiya*. 2019; 126(4): 228–34. <https://elibrary.ru/wdsvda> <https://doi.org/10.1007/s10512-019-00548-8> <https://elibrary.ru/zntfhy> (in Russian)
3. Vasyanovich M.E., Ekidin A.A., Vasilyev A.V., Kryshev A.I., Sazykina T.G., Kosykh I.V., et al. Determination of radionuclide composition of the Russian NPPs atmospheric releases and dose assessment to population. *J. Environ. Radioact.* 2019; 208–209: 106006. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.106006>
4. Yakovlev G.A., Yakovleva V.S. Features of seasonal dynamics of radon isotopes in surface atmosphere. *Vestnik KRAUNTs. Fiziko-matematicheskie nauki*. 2020; 31(2): 129–38. <https://doi.org/10.26117/2079-6641-2020-31-2-129-138> <https://elibrary.ru/xocsdw> (in Russian)
5. Artamonov Yu.E., Mustafina E.V., Baklanova Yu.V. Determination of seasonal changes in concentrations of radon isotopes within Kurchatov town. *Vestnik NYaTs RK*. 2022; (4): 41–50. <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2022-4-41-50> <https://elibrary.ru/ufjlbv> (in Russian)
6. Zaalishvili V.B., Mel'kov D.A., Revazov M.O. Relationship of radon emanation with the level of external impact according to large landslides monitoring in mountain areas. *Ustoichivoe razvitiye gornyykh territorii*. 2021; 13(4): 564–75. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2021-13-4-564-575> <https://elibrary.ru/ovuxrx> (in Russian)
7. Karpin V.A. Modern environmental aspects of radon isotopes natural emanation: a literature review. *Экология человека*. 2020; (6): 34–40. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-6-34-40> <https://elibrary.ru/dxmxsy> (in Russian)
8. Hýza M., Rulík P., Bednář V. Optimization of the radioactive aerosol sampling and measuring procedure with respect to radon concentration in the air. *Radiat. Prot. Dosimetry*. 2019; 186(2–3): 280–3. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncz218>
9. Degu Belete G., Alemu Anteneh Y. General overview of radon studies in health hazard perspectives. *J. Oncol.* 2021; 2021: 6659795. <https://doi.org/10.1155/2021/6659795>
10. Stoulos S., Ioannidou A. Radon and its progenies variation in the urban polluted atmosphere of the Mediterranean city of Thessaloniki, Greece. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2020; 27(1): 1160–6. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07051-4>
11. Nikiforov D.V., Mezova L.A., Kul'nev V.V., Lugovskoi A.M., Nikanov A.N., Kizeev A.N., et al. Public health in radon-affected territories. *Экология человека*. 2019; (1): 40–50. <https://elibrary.ru/zdcayh> (in Russian)
12. Kurshina G.Yu., Kravchenko L.Yu., Kul'nev V.V. To the issue of environmental safety of nuclear power plants. In: Kosiнова I.I., ed. *Materials of the International Youth Forum «Education, Ecology, practice» [Materialy Mezhdunarodnogo molodezhnogo foruma «Obrazovanie, ekologiya, praktika»]*. Voronezh; 2018: 181–6. <https://elibrary.ru/xrxilb> (in Russian)
13. Kizeev A.N., Kul'nev V.V., Kul'neva E.M. The role of radiobiological research in the implementation of the ecological and geochemical function of the lithosphere. In: *Materials of the Eighth Scientific and Practical Conference «Ecological Geology: Theory, Practice and Regional Problems» [Materialy vos'moi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Ekologicheskaya geologiya: teoriya, praktika i regional'nye problemy»]*. Voronezh; Kvart; 2023: 28–32. <https://elibrary.ru/gebjbq> (in Russian)
14. Wang H., Meng Q., Ma Y., Lou Y., Bai B., Zhu W., et al. Temporal variations of (7)Be and (210)Pb activity concentrations in the atmospheric aerosols during 2018–2019 in Beijing, China and their correlations with meteorological parameters. *J. Environ. Radioact.* 2023; 262: 107162. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2023.107162>

15. Morera-Gómez Y., Alonso-Hernández C.M., Cartas-Águila H.A. 10-Years assessment of (7)Be and (210)Pb in atmospheric bulk depositions in Cienfuegos (Cuba). *J. Environ. Radioact.* 2022; 246: 106831. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2022.106831>
16. Fomenko V.A., Sokolov A.A., Miroshnikov A.S., Randzhan A., Lukyanov A.S. Advancement of geocological monitoring of radon emanations from out-of-service tailings dumps in mineral mining and processing industry. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)*. 2023; (6): 139–52. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_6_0_139 <https://elibrary.ru/jdlmwy> (in Russian)
17. Erkushov V.Yu., Shibaeva S.A., Ryabinin A.I. Total beta radioactivity in atmospheric precipitation and aerosols of Crimea in the XXI century. In: *Environmental Control Systems – 2016. Abstracts of the International Scientific and Technical Conference [Sistemy kontrolya okruzhayushchei sredy – 2016. Tezisy dokladov Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii]*. Sevastopol'; 2016. <https://elibrary.ru/xseaf> (in Russian)
18. Tentyukov M.P. Specific activity assessment of artificial and natural radionuclides in dry aerosols' sink. *Vestnik instituta biologii Komi nauchnogo tsentra Ural'skogo otdeleniya RAN*. 2011; (4-5): 12–7. <https://elibrary.ru/tknblh> (in Russian)
19. Buraeva E.A., Zorina L.V., Rogov V.P., Stasov V.V., Skorzhinskii D.A. Natural radioactivity of the surface layer of air in Rostov-on-don. *Global'naya yadernaya bezopasnost'*. 2012; (1): 22–31. <https://elibrary.ru/pfwlrlj> (in Russian)
20. Jang G.G., Wiechert A.I., Kim Y.H., Ladshaw A.P., Spano T., McFarlane J., et al. Charging of radioactive and environmental airborne particles. *J. Environ. Radioact.* 2022; 248: 106887. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2022.106887>
21. Nikanov A.N., Gudkov A.B., Thomassen Y., Chashchin V.P., Popova O.N. Natural background radiation in residential and public buildings located in the vicinity of mining operations in the Arctic. *Zhurnal mediko-biologicheskikh issledovaniy*. 2022; 10(4): 363–71. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z114> (in Russian)

Сведения об авторах

Кузмичев Максим Константинович, канд. мед. наук, зав. радиологической лаб. ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области», доцент каф. гигиенических дисциплин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко».

Клепиков Олег Владимирович, доктор биол. наук, профессор каф. геоэкологии и мониторинга окружающей среды ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», профессор каф. промышленной экологии, оборудования химических и нефтехимических производств ФГБОУ ВО «Воронежский государственный инженерный университет технологий».

Куролап Семен Александрович, доктор геогр. наук, профессор, зав. каф. геоэкологии и мониторинга окружающей среды ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет».

Кульнев Вадим Вячеславович, канд. геогр. наук, вед. специалист-эксперт отд. государственного экологического надзора по Воронежской области Центрально-Чернозёмного межрегионального управления Федеральной службы по надзору в сфере природопользования, 394038, Воронеж, Россия.

Кизеев Алексей Николаевич, канд. биол. наук, ст. науч. сотр. отд. социально-гигиенического анализа и мониторинга ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора, 191036, Санкт-Петербург, Россия.

Никанов Александр Николаевич, канд. мед. наук, вед. науч. сотр., зав. научным отд. профпатологии ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора, 191036, Санкт-Петербург, Россия.

Information about the authors

Maxim K. Kuzmichev, MD, PhD, head of the Radiological Laboratory of the Center of Hygiene and Epidemiology in the Voronezh Region, Voronezh, 394038, Russian Federation, Associate Professor of the Department of Hygienic Disciplines of the Voronezh State Medical University, Voronezh, 394036, Russian Federation, <https://orcid.org/0009-0009-9903-7201>

Oleg V. Klepikov, MD, PhD, DSci., professor, Department of Geoecology and Environmental Monitoring, Voronezh State University, Voronezh, 394018, Russian Federation; Professor, Departments of Industrial Ecology, equipment of chemical and petrochemical industries, Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, 394036, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-9228-620X>

Semen A. Kurolap, MD, PhD, DSci. (Geogr.), professor, head of the Department of Geoecology and Environmental Monitoring, Voronezh State University, Voronezh, 394018, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-6169-8014>

Vadim V. Kulnev, MD, PhD, leading specialist-expert, Department of State Environmental Supervision in the Voronezh region, Central Chernozem Interregional Department of the Federal Service for Supervision of Natural Resources, Voronezh, 394087, Russian Federation <https://orcid.org/0000-0002-1646-9183>

Aleksei N. Kizeev, MD, PhD, senior researcher, Department of Social and Hygienic Analysis and Monitoring, North-West Public Health Research Center, St.-Petersburg, 394087, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-8689-7327>

Aleksander N. Nikanov, MD, PhD, leading researcher, head of the Scientific Department of Occupational Pathology, North-West Public Health Research Center, St.-Petersburg, 394087, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-3335-4721>