

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2023

Читать  
онлайн  
Read  
online

Хурцилава О.Г.<sup>1</sup>, Мироненко О.В.<sup>1,2</sup>, Носков С.Н.<sup>1,3</sup>, Магомедов Х.К.<sup>1</sup>,  
Панькин А.В.<sup>4</sup>, Федорова Е.А.<sup>1</sup>, Обухов Д.А.<sup>1</sup>, Суворова О.К.<sup>5</sup>

## Сравнительная оценка канцерогенного риска, возникающего при выбросах в атмосферный воздух продуктов высокотемпературного и низкотемпературного обезвреживания медицинских отходов

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова»  
Министерства здравоохранения Российской Федерации, 191015, Санкт-Петербург, Россия;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», 199034, Санкт-Петербург, Россия;

<sup>3</sup>ФБун «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Федеральной службы по надзору в сфере  
защиты прав потребителей и благополучия человека, 191036, Санкт-Петербург, Россия;

<sup>4</sup>ООО «Компания "Авент"», 192019, Санкт-Петербург, Россия;

<sup>5</sup>ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», 190031,  
Санкт-Петербург, Россия

**Введение.** Проблема обезвреживания (обеззараживания) медицинских отходов, образующихся в медицинских организациях, занимает значительное место среди существующих эпидемиологических и экологических проблем. Отечественные и зарубежные коллеги считают приоритетным применение термических методов обезвреживания медицинских отходов. Несмотря на технологические достижения в системе очистки отходящих газов, работа предприятий по обезвреживанию медицинских отходов по-прежнему вызывает озабоченность населения территорий, на которых они функционируют.

**Цель исследования** — дать гигиеническую оценку воздействия высокотемпературного и низкотемпературного термического обезвреживания медицинских отходов на атмосферный воздух и здоровье населения в зоне влияния предприятий данного профиля с целью последующего обоснования программы лабораторного контроля при использовании этих технологий.

**Материалы и методы.** В работе применяли санитарно-химические методы исследования выбросов установок термического обезвреживания медицинских отходов, моделирование рассеивания выбросов с расчётом приземных концентраций и методологию оценки риска для здоровья населения на основании Р.2.1.10.1920–04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду».

**Результаты.** Полученные результаты расчёта канцерогенного риска для здоровья населения в случае применения высокотемпературных технологий обезвреживания оцениваются как предельно допустимые и допустимые, низкотемпературного метода — как допустимые.

**Ограничения исследования.** В составе выбросов от основных технологий обезвреживания медицинских отходов присутствовали вещества, обладающие канцерогенным эффектом, однако канцерогенный риск рассчитывался только для тех веществ, которые имели канцерогенный потенциал.

**Заключение.** На основании полученных результатов исследования при организации программ производственного лабораторного контроля и проведении мониторинга атмосферного воздуха в зоне воздействия предприятий сжигания медицинских отходов необходимо включать в обязательный перечень контролируемых показателей следующие компоненты: диоксид серы, диоксид азота, взвешенные вещества, оксид кадмия, оксид азота, диоксины и бенз(а)пирен. В зоне работы установок низкотемпературного термического обезвреживания медицинских отходов (автоклавирования) необходимо контролировать содержание бензола, диметилбензола, метилбензола, этилбензола, 2-бутоксиэтанола, бутан-1-ола, пропан-1-ола.

**Ключевые слова:** оценка риска для здоровья; обезвреживание отходов; технологии термического обезвреживания; канцерогенный риск; атмосферный воздух; загрязняющие вещества; медицинские отходы; пиролиз; классическое сжигание; пиролитическое сжигание, автоклавирование

**Соблюдение этических стандартов.** Исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике.

**Для цитирования:** Хурцилава О.Г., Мироненко О.В., Носков С.Н., Магомедов Х.К., Панькин А.В., Федорова Е.А., Обухов Д.А., Суворова О.К. Сравнительная оценка канцерогенного риска, возникающего при выбросах в атмосферный воздух продуктов высокотемпературного и низкотемпературного обезвреживания медицинских отходов. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(8): 750–756. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-8-750-756> <https://elibrary.ru/wdbjog>

**Для корреспонденции:** Мироненко Ольга Васильевна, доктор мед. наук, профессор, зав. каф. коммунальной гигиены ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России, 191015, Санкт-Петербург. E-mail: katerina.fedo@gmail.com

**Участие авторов:** Хурцилава О.Г. — гигиеническая оценка технологий и редактирование; Мироненко О.В. — научное руководство, концепция и дизайн исследования, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи; Носков С.Н. — расчёт валовых выбросов, максимальных разовых приземных концентраций, редактирование; Магомедов Х.К. — концепция и дизайн исследования, редактирование и редактирование; Панькин А.В. — статистическая обработка, расчёт канцерогенного риска; Федорова Е.А. — сбор и статистическая обработка материала, написание текста; Обухов Д.А. — статистическая обработка; Суворова О.К. — концепция и дизайн исследования.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила: 05.06.2023 / Принята к печати: 07.06.2023 / Опубликована: 09.10.2023

Otari G. Khurtsilava<sup>1</sup>, Olga V. Mironenko<sup>1,2</sup>, Sergey N. Noskov<sup>1,3</sup>, Khamzat K. Magomedov<sup>1</sup>, Andrey V. Pankin<sup>4</sup>, Ekaterina A. Fedorova<sup>1</sup>, Denis A. Obukhov<sup>1</sup>, Olga K. Suvorova<sup>5</sup>

## Comparative assessment of the carcinogenic risk arising from the release of products of high-temperature and low-temperature neutralization of medical waste into the air

<sup>1</sup>North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, 191015, Russian Federation;

<sup>2</sup>St. Petersburg State University, St. Petersburg, 199034, Russian Federation;

<sup>3</sup>North-West public health research center, Saint Petersburg, 191036, Russian Federation;

<sup>4</sup>LLC "Avent" company, Saint Petersburg, 192019, Russian Federation;

<sup>5</sup>Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

**Introduction.** The problem of neutralization/decontamination of medical waste generated in medical institutions occupies a significant place among the existing epidemiological and environmental problems. Domestic and foreign colleagues consider the use of thermal methods for the disposal of medical waste to be a priority. Despite technological advances in the system of purification of «exhaust» gases, the work of enterprises for the disposal of medical waste is still of concern to the population of the territories in which they operate.

**The objective of the study.** The assessment of the impact of low-temperature and high-temperature thermal treatment of medical waste on the atmospheric air and public health in the zone of their influence to substantiate the laboratory control program using these technologies.

**Materials and methods.** The work used sanitary-chemical methods for studying emissions from installations for the thermal treatment of medical waste, modelling the dispersion of emissions with the calculation of ground-level concentrations, and the methodology for assessing the risk to public health based on «Guidelines for assessing the risk to public health from exposure to chemicals polluting the environment».

**Results.** The results of the calculation of the carcinogenic risk to public health from high-temperature neutralization technologies are assessed as the maximum allowable and acceptable, from the low-temperature method as acceptable.

**Limitations.** Emissions from the main technologies for the disposal of medical waste included substances with a carcinogenic effect, but the carcinogenic risk was calculated only for those substances that had a carcinogenic potential factor.

**Conclusion.** Based on the results of the study, when managing production laboratory control programs and monitoring atmospheric air in the impact zone of medical waste incineration enterprises, it is necessary to include the such components in the mandatory list of monitored indicators as sulfur dioxide, nitrogen dioxide, suspended solids, cadmium oxide, nitrogen oxide, dioxins, and benz/a/pyrene; in the operating area of installations for low-temperature thermal treatment of medical waste (autoclaving), it is necessary to control chemical components as follows: benzene, dimethylbenzene, methylbenzene, ethylbenzene, 2-butoxyethanol, butan-1-ol, propan-1-ol.

**Keywords:** health risk; waste disposal; thermal treatment technologies; carcinogenic risk; atmospheric air; pollutants; medical waste; pyrolysis; combustion; autoclaving

**Compliance with ethical standards.** The study does not require the submission of the opinion of the biomedical ethics committee.

**For citation:** Khurtsilava O.G., Mironenko O.V., Noskov S.N., Magomedov Kh.K., Pankin A.V., Fedorova E.A., Obukhov D.A., Suvorova O.K. Comparative assessment of the carcinogenic risk arising from the release of products of high-temperature and low-temperature neutralization of medical waste into the air. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian Journal)*. 2023; 102(8): 750–756. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-8-750-756> <https://elibrary.ru/wdbjog> (In Russ.)

**For correspondence:** Olga V. Mironenko, MD, PhD, DSci., professor, Head of the Department of Communal Hygiene North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, 191015, Russian Federation. E-mail: [katerina.fedo@gmail.com](mailto:katerina.fedo@gmail.com)

### Information about authors:

Khurtsilava O.G., <https://orcid.org/0000-0002-7199-671X>

Noskov S.N., <https://orcid.org/0000-0001-7971-4062>

Pankin A.V., <https://orcid.org/0000-0002-7645-2199>

Obukhov D.A., <https://orcid.org/0000-0002-1444-9218>

Mironenko O.V., <https://orcid.org/0000-0002-1484-8251>

Magomedov Kh.K., <https://orcid.org/0000-0002-1521-551X>

Fedorova E.A., <https://orcid.org/0000-0002-9233-7203>

Suvorova O.K., <https://orcid.org/0000-0001-5826-5464>

**Contribution:** *Khurtsilava O.G.* – hygienic technology assessment, editing; *Mironenko O.V.* – scientific leadership, concept and design of the study, editing, approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article; *Noskov S.N.* – calculation of gross emissions, maximum single surface concentrations, editing; *Magomedov Kh.K.* – research concept and design of the study, proofreading and editing; *Pankin A.V.* – statistical processing, calculation of carcinogenic risk; *Fedorova E.A.* – collection and statistical processing of material, writing the text; *Obukhov D.A.* – statistical processing; *Suvorova O.K.* – research concept and design of the study. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version

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

**Acknowledgement.** The study had no sponsorship.

Received: June 05, 2023 / Accepted: August 15, 2023 / Published: October 9, 2023

## Введение

Медицинские услуги, предоставляемые медицинскими организациями, неизбежно приводят к образованию медицинских отходов, которые могут представлять опасность для населения и окружающей среды. Рост удельного веса стареющего населения и спроса на медицинские услуги, особенно в период эпидемий в последние годы, приводит к значительному увеличению объёма инфекционных и потенциально инфицированных медицинских отходов, что требует применения высокоэффективных безопасных технологий обезвре-

живания. Во всём мире существующие проблемы обращения с медицинскими отходами обострились в связи с пандемией COVID-19 и привели к образованию огромного количества полимерных медицинских отходов, что связано с использованием одноразовых средств индивидуальной защиты медицинских работников и пациентов, лабораторной диагностикой вирусных инфекций. Это обстоятельство представляет серьёзную угрозу здоровью населения и окружающей среде, вызывает серьёзную озабоченность общества [1–7]. Полная утрата инфекционных свойств и морфологического состава медицинских отходов (обезвреживание) может быть достиг-

нута только термическими методами. В отношении отходов класса Б может быть применён централизованный путь, то есть обезвреживание в самих медицинских организациях (МО), на отдельных участках (на специально выделенных площадках) или за счёт крупных мусоросжигательных центров. Для медицинских отходов класса В установка термического обезвреживания размещается на территории МО (децентрализованный путь) [8–10]. Однако отсутствует система оценки, которая позволит, учитывая преимущества и недостатки технологий обезвреживания медицинских отходов, решить, какой метод необходимо применить в каждом конкретном случае. Зарубежные коллеги считают приоритетным применение термических методов обезвреживания медицинских отходов, таких как высокотемпературное сжигание и низкотемпературная обработка методом автоклавирования при воздействии температуры и насыщенного водяного пара под давлением на локальных установках с последующим изменением внешнего вида отходов [4, 11].

Мусоросжигательные центры традиционно связывают с выбросами токсичных загрязняющих веществ. Загрязнение атмосферного воздуха негативно сказывается на здоровье населения и окружающей среде, что затрудняет применение профилактических мероприятий. Стокгольмская конвенция содержит международное руководство по безопасному обращению со стойкими органическими загрязнителями. Цель конвенции состоит в том, чтобы свести к минимуму или предотвратить воздействие загрязняющих веществ на человека. Это предполагает подход, основанный на принципе осторожности. В Руководстве акцент сделан на технологии сжигания отходов, поскольку это потенциальный источник образования высокотоксичных химических веществ, в том числе диоксиноподобных соединений. Заявлено, что новые технологии сжигания отходов более чистые и меньше воздействуют на окружающую среду. Тем не менее загрязняющие вещества по-прежнему выбрасываются в атмосферу, а модернизированные объекты требуют регулярного обслуживания для сохранения допустимого уровня выбросов. Несмотря на технологические достижения в системе очистки отходящих газов, последствия для здоровья человека работы мусоросжигательных центров по-прежнему вызывают озабоченность населения территорий, на которых они функционируют [12–25].

*Цель исследования* – выполнить гигиеническую оценку воздействия на атмосферный воздух и здоровье населения высокотемпературного и низкотемпературного термического обезвреживания медицинских отходов в зоне их влияния для последующего обоснования программы лабораторного контроля при использовании данных технологий.

## Материалы и методы

Для оценки канцерогенного риска использована методология Р.2.1.10.1920–04<sup>1</sup>. В качестве исходных данных использованы результаты протоколов производственного контроля предприятия по обезвреживанию медицинских отходов № 1 (на основе классического сжигания); предприятия № 2 (на основе пиролизического сжигания) и предприятия № 3 на базе МО Санкт-Петербурга (локальная установка низкотемпературного обезвреживания методом автоклавирования при температуре плюс 114 °С и давлении ниже 1 атм.).

Вычисление среднегодовых концентраций выполнено в унифицированной программе расчёта загрязнения атмосферного воздуха «Эколог» фирмы «Интеграл» (версия 4.6) с модулем расчётного блока «Средние 4.6», который предназначен для определения концентраций химических веществ в атмосферном воздухе, осреднённых за длительный период. Для определения среднегодовых концентраций на границе жилой застройки (в зоне влияния предприятий по обезвре-

живанию медицинских отходов) выбраны семь точек для первого предприятия, шесть точек для второго и три точки для локальной установки МО. Для оценки канцерогенного риска, возникающего при выбросах в атмосферный воздух продуктов данных технологий, применяли фактор канцерогенного потенциала (SF<sub>i</sub>), отражающий дополнительный индивидуальный канцерогенный риск или степень увеличения вероятности развития рака.

## Результаты

В процессе сжигания медицинских отходов на предприятиях № 1 и № 2 в атмосферный воздух выбрасывалось 13 веществ. Большая часть (99,96%) валового выброса предприятия № 1 приходилась на диоксид азота, взвешенные вещества, диоксид серы, остальные десять химических веществ имели вклад всего 0,04%. На предприятии № 2 серы диоксид, взвешенные вещества, оксид азота (II), диоксид азота составили 99,97% объёма валового выброса. Остальные 9 веществ суммарно составили всего 0,03% валового выброса.

От установки низкотемпературного воздействия в атмосферный воздух поступает семь загрязняющих компонентов. Основной объём (99,23%) выброса составили метилбензол, 2-бутоксизтанол, бутан-1-ол, бензол, пропан-1-ол, этилбензол, диметилбензол, и только 0,77% валового выброса – этанол.

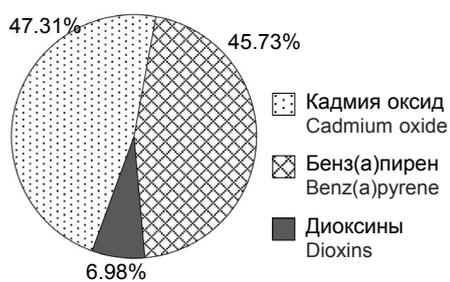
### Значения концентраций загрязняющих компонентов в расчётных точках

#### Values of pollutant concentrations at design points

Код Code	Наименование вещества Substance name	На жилой территории In a residential area	
		мин / min	макс / max
<i>Предприятие по сжиганию медицинских отходов № 1</i> <i>Medical Waste Incinerator No. 1</i>			
301	Азота диоксид / Nitrogen dioxide	8.7E–04	3.0E–03
133	Кадмия оксид / Cadmium oxide	1.8E–07	7.3E–07
2902	Взвешенные вещества Suspended solids	1.5E–02	5.9E–02
330	Серы диоксид / Sulfur dioxide	0.015	0.061
3620	Диоксины / Dioxins	1.1E–12	4.5E–12
703	Бенз(а)пирен / Benz(a)pyrene	2.9E–07	1.1E–06
<i>Предприятие по сжиганию медицинских отходов № 2</i> <i>Medical Waste Incinerator No. 2</i>			
301	Азота диоксид / Nitrogen dioxide	1.4E–02	4.7E–02
133	Кадмия оксид / Cadmium oxide	3.3E–10	1.1E–09
330	Серы диоксид / Sulfur dioxide	1.7E–02	5.9E–02
2902	Взвешенные вещества Suspended solids	0.028	0,095
304	Азота оксид / Nitrogen oxide	8.4E–05	2.8E–04
3620	Диоксины / Dioxins	7.2E–14	2.4E–13
703	Бенз(а)пирен / Benz(a)pyrene	3.3E–07	1.1E–06
<i>Предприятие № 3 (автоклавирование) / Plant No. 3 (autoclaving)</i>			
1140	2-Бутоксизтанол / 2-Butoxyethanol	0.003	0.020
621	Метилбензол / Methylbenzene	0.002	0.011
1042	Бутан-1-ол / Butan-1-ol	2.0E–03	1.0E–02
1054	Пропан-1-ол / Propan-1-ol	1.0E–03	8.0E–03
616	Диметилбензол / Dimethylbenzene	1.0E–03	6.0E–03
627	Этилбензол / Ethylbenzene	8.5E–06	5.0E–05
602	Бензол / Benzene	8.5E–06	5.0E–05

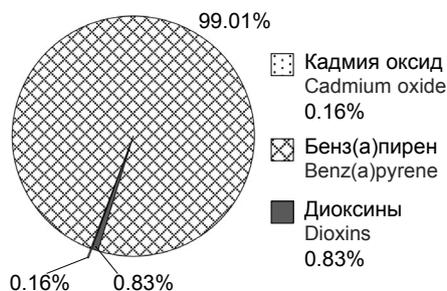
<sup>1</sup> Р.2.1.10.1920–04 Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России; 2004.

Original article



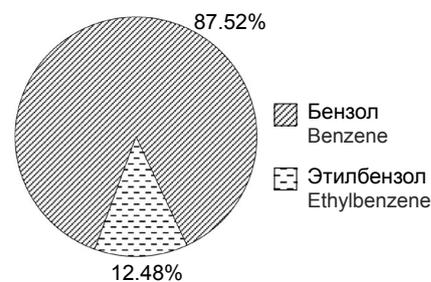
**Рис. 1.** Вклад канцерогенов в суммарные уровни канцерогенного риска от предприятия по сжиганию медицинских отходов № 1 (%).

**Fig. 1.** The contribution of carcinogens to the total levels of carcinogenic risk from the medical waste incinerator No. 1 (%).



**Рис. 2.** Вклад канцерогенов в суммарные уровни канцерогенного риска от предприятия по сжиганию медицинских отходов № 2 (%).

**Fig. 2.** The contribution of individual carcinogens to the total levels of carcinogenic risk from the medical waste incinerator No. 2 (%).



**Рис. 3.** Вклад канцерогенов в суммарные уровни канцерогенного риска от установок автоклавирования – предприятие № 3 (%).

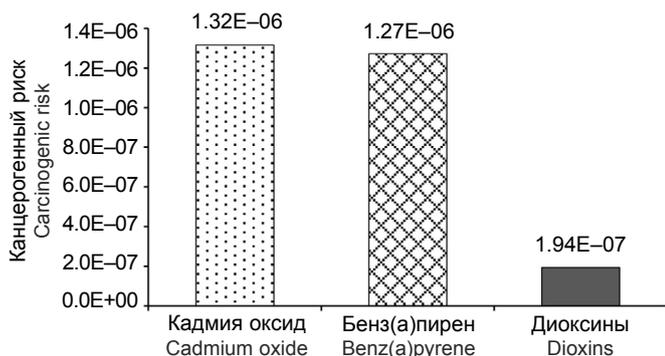
**Fig. 3.** The contribution of carcinogens to the total levels of carcinogenic risk from the autoclaving installations (plant No. 3 (%)).

Выбросы в атмосферу от мусоросжигательных центров № 1 и № 2 представлены в основном загрязняющими веществами III класса опасности (умеренно опасные) – 99,999 и 99,969% соответственно, выбросы чрезвычайно опасных (I класс) веществ составляли менее 0,01%. От предприятия № 3 выбросы представлены преимущественно загрязняющими веществами III класса опасности (умеренно опасные) – 61,09%, выбросы чрезвычайно опасных веществ (I класс) отсутствовали.

На первом этапе исследования выявлено 6 химических веществ в выбросах установок сжигания медицинских отходов, которые, по данным СанПиН 1.2.3685–21<sup>2</sup>, Р 2.1.10.1920–04<sup>1</sup> и МАИР, при ингаляционном пути поступления в организм обладают канцерогенным действием: серы диоксид, ртуть, кадмия оксид, гидрохлорид (водорода хлорид), бенз(а)пирен, диоксины. Фактор канцерогенного потенциала (SF<sub>i</sub>) разработан только для трёх канцерогенов (кадмия оксид, бенз(а)пирен, диоксины). В выбросах установки низкотемпературного воздействия присутствуют пять канцерогенов: диметилбензол, бензол, метилбензол, 2-бутоксизтанол, этилбензол. Но только для бензола и этилбензола существует фактор канцерогенного потенциала (SF<sub>i</sub>).

На основании выполненного анализа промышленных выбросов от мусоросжигательного центра № 1 выбрано шесть загрязняющих веществ, от мусоросжигательного центра № 2 – семь веществ и от предприятия № 3 – семь веществ.

<sup>2</sup> СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».



**Рис. 4.** Максимальные значения индивидуального канцерогенного риска в расчётных точках при воздействии предприятия по сжиганию медицинских отходов № 1.

**Fig. 4.** Maximum values of individual carcinogenic risk at calculated points under the influence of medical waste incinerator No. 1.

Величины канцерогенного риска для здоровья населения от поступления атмосферных загрязнений рассчитаны по сценарию жилой зоны, при котором рассматривается ингаляционный путь поступления химических веществ [26].

В таблице указаны диапазоны среднегодовых концентраций химических веществ, выбрасываемых в атмосферный воздух, в расчётных точках на границе жилой застройки.

От мусоросжигательных центров в расчётных точках оценивали вероятность развития индивидуального канцерогенного риска от воздействия кадмия оксида, бенз(а)пирена, диоксинов; от технологии автоклавирования на предприятии № 3 – от воздействия бензола, этилбензола.

Структурный вклад канцерогенов в суммарные уровни риска от предприятий по сжиганию медицинских отходов и от установки автоклавирования в расчётных точках представлены на рис. 1–3.

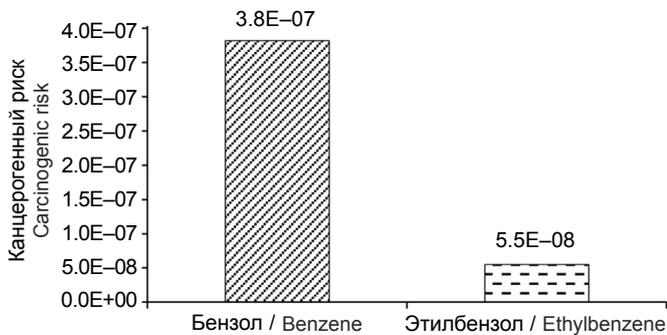
Максимальные значения индивидуального канцерогенного риска в расчётных точках от предприятия высокотемпературного обезвреживания № 1 достигли значения для бенз(а)пирена 1,27E–06, кадмия оксида – 1,32E–06, что соответствует второму диапазону. От воздействия диоксинов уровень индивидуального канцерогенного риска составил 1,94E–07, что соответствует первому диапазону (рис. 4) [27].

Максимальные значения канцерогенного риска в расчётных точках от предприятия высокотемпературного обезвреживания № 2 у бенз(а)пирена достигли значения 1,25E–06 (второй диапазон риска), у диоксинов – 1,04E–08, кадмия оксида – 2,04E–09, что соответствует первому диапазону риска (рис. 5) [27].



**Рис. 5.** Максимальные значения индивидуального канцерогенного риска в расчётных точках при воздействии предприятия по сжиганию медицинских отходов № 2.

**Fig. 5.** Maximum values of individual carcinogenic risk at calculated points under the influence of medical waste incinerator No. 2.



**Рис. 6.** Максимальные значения индивидуального канцерогенного риска в расчётных точках при воздействии установок автоклавирования (предприятие № 3).

**Fig. 6.** Maximum values of individual carcinogenic risk at calculated points under the influence of autoclaving installations (plant No. 3).

Максимальные значения канцерогенного риска от установок низкотемпературного обезвреживания № 3 для этилбензола в расчётных точках достигают значения  $5,5E-08$ , бензола —  $3,8E-07$ , что соответствует первому диапазону риска (рис. 6) [27].

## Обсуждение

Проведена гигиеническая оценка воздействия предприятий, применяющих технологии сжигания (классического и пиролизического) и технологии автоклавирования медицинских отходов в аспекте канцерогенного риска. Методы термического обезвреживания медицинских отходов широко применяются на практике и описаны как в отечественных, так и в зарубежных работах, однако отсутствуют данные об оценке риска для здоровья населения, проживающего в зоне их размещения [28–34].

При высокотемпературном обезвреживании медицинских отходов (классическом и пиролизическом сжигании) выявлены следующие приоритетные загрязнения атмосферного воздуха: кадмия оксид, серы диоксид, азота диоксид, бенз(а)пирен, азота оксид, диоксины (диоксин, тетрадиоксин, 2,3,7,8-ТХДД), взвешенные вещества. Формируют канцерогенный риск кадмия оксид, бенз(а)пирен, диоксины (диоксин, тетрадиоксин, 2,3,7,8-ТХДД), при этом от воздействия кадмия оксида расчётные значения на предприятии № 1 достигают значения  $1,32E-06$ , от бенз(а)пирена —  $1,27E-06$ , что соответствует второму диапазону риска и требует постоянного контроля. Предприятие № 2 характеризуется расчётными значениями по бенз(а)пирену  $1,25E-06$  (второй диапазон риска). Данные компоненты должны быть включены в программу производственного контроля и постоянно подвергаться мониторингу в атмосферном воздухе

жилой застройки, расположенной вблизи зоны мусоросжигательного предприятия.

При низкотемпературном обезвреживании медицинских отходов (обезвреживании водяным насыщенным паром под избыточным давлением) приоритетными загрязнениями являются бензол, диметилбензол, метилбензол, этилбензол, 2-бутоксиганол, бутан-1-ол, пропан-1-ол, из них канцерогенный риск создают бензол и этилбензол, на что указывают полученные расчётные значения по бензолу  $3,8E-07$  и этилбензолу —  $5,5E-08$ . Данные величины соответствуют первому диапазону риска, что не требует постоянного контроля.

Полученные результаты могут служить основанием для разработки единых критериев, подходов к организации и проведению производственного контроля на территории предприятий Российской Федерации, осуществляющих термическое обезвреживание медицинских отходов различными методами. При этом термическое обезвреживание медицинских отходов не имеет научно обоснованных критериев для мониторинга выбросов в атмосферный воздух [28, 35, 36, 37].

## Заключение

Проблема обращения с медицинскими отходами актуальна, и в настоящее время остаётся открытым вопрос внедрения и мониторинга состояния атмосферного воздуха в случае использования систем классического, пиролизического сжигания и технологии автоклавирования. Согласно российскому законодательству, вне зависимости от пути термического обезвреживания медицинских отходов (централизованного или децентрализованного) необходимо постоянно контролировать показатели, негативно влияющие на окружающую среду.

При организации программы производственного лабораторного контроля на таких предприятиях и проведении мониторинга атмосферного воздуха в зоне воздействия предприятий сжигания медицинских отходов необходимо включать в обязательный перечень контролируемых показателей следующие компоненты: серы диоксид, азота диоксид, взвешенные вещества, кадмия оксид, азота оксид, а также канцерогены — кадмия оксид, диоксины (приоритетный показатель при сжигании отходов, содержащих поливинилхлорид) и бенз(а)пирен в качестве «золотого стандарта» канцерогенного вещества, образующегося при сжигании полимерных отходов.

Для организации программы производственного контроля и мониторинга воздуха населённых мест на границе жилой застройки в зоне работы установок низкотемпературного термического обезвреживания медицинских отходов (автоклавирования) необходимо реализовать контроль химических компонентов: бензола, диметилбензола, метилбензола, этилбензола, 2-бутоксиганол, бутан-1-ола, пропан-1-ола. К числу приоритетных канцерогенов, периодический контроль которых необходим, следует отнести бензол и этилбензол.

## Литература

(п.п. 1–7, 9–12, 14, 19, 32–34, 37 см. References)

- Мозжухина Н.А., Никонов В.А., Ялда К.Д., Еремин Г.Б. Экологические и гигиенические аспекты обращения с медицинскими отходами. *Здоровье — основа человеческого потенциала: проблема и пути их решения*. 2017; 12(2): 518–26. <https://elibrary.ru/yoozvz>
- Треггер Ю.А. Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях. Пути ее реализации в Российской Федерации. *Химическая физика*. 2012; 31(10): 33. <https://elibrary.ru/pdtyjt>
- Сергеев А.К., Сучков В.В., Анисимов В.Н. Комплексная оценка риска здоровью населения при воздействии загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городского округа Самара. *Смоленский медицинский альманах*. 2016; (1): 213–6. <https://elibrary.ru/vwzyrp>
- Ревич Б.А. Качество атмосферного воздуха в мегаполисах и риски здоровью населения. В кн.: Ревич Б.А., Кузнецова О.В., ред. *Человек в мегаполисе: опыт междисциплинарного исследования*. М.: ЛЕНАНД; 2018: 214–25.
- Фёдоров В.Н., Тихонова Н.А., Новикова Ю.А., Ковшов А.А., Историк О.А., Мясников И.О. Проблемы гигиенической оценки качества атмосферного воздуха населённых мест на примере городов Ленинградской области. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(6): 657–64. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-6-657-664> <https://elibrary.ru/upqjlr>
- Фридман К.Б., Мироненко О.В., Белкин А.С., Носков С.Н., Магомедов Х.К. Экспериментальное обоснование программы гигиенической оценки метода геотубирования при складировании осадков городских сточных вод. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Медицина*. 2017; 12(2): 202–11. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu11.2017.209> <https://elibrary.ru/zdotfn>
- Киселев А.В., Григорьева Я.В. Применение результатов расчёта загрязнения атмосферного воздуха для социально-гигиенического мониторинга. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(4): 306–9. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-4-306-309> <https://elibrary.ru/ykuqhr>

## Original article

21. Бакиров А.Б., Сулейманов Р.А., Валеев Т.К., Бактыбаева З.Б., Рахматуллин Н.Р., Степанов Е.Г. и др. Эколого-гигиеническая оценка канцерогенного риска здоровью населения техногенных территорий Республики Башкортостан. *Медицина труда и экология человека*. 2018; (3): 5–12. <https://elibrary.ru/yymmofb>
22. Клепиков О.В., Куролап С.А., Седых В.А. Мониторинг загрязнения атмосферного воздуха и оценка канцерогенных рисков для здоровья населения города Липецка. *Региональные геосистемы*. 2021; 45(2): 236–45. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2021-45-2-236-245> <https://elibrary.ru/jgkxtw>
23. Попова А.Ю., Гурвич В.Б., Кузьмин С.В., Мишина А.Л., Ярушин С.В. Современные вопросы оценки и управления риском для здоровья. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(12): 1125–9. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-12-1125-1129> <https://elibrary.ru/yqxmne>
24. Мироненко О.В., Киселев А.В., Носков С.Н., Панькин А.В., Магомедов Х.К., Шенгелия З.Н. и др. Прогнозирование заболеваемости и оценка риска здоровью при выполнении гигиенических исследований, связанных с химическими факторами воздействия. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Медицина*. 2017; 12(4): 419–28. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu11.2017.410> <https://elibrary.ru/ymsxjf>
25. Рахманин Ю.А., Новиков С.М., Авалиани С.Л., Синицына О.О., Шашина Т.А. Современные проблемы оценки риска воздействия факторов окружающей среды на здоровье населения и пути ее совершенствования. *Анализ риска здоровью*. 2015; (2): 4–11. <https://elibrary.ru/rzddok>
26. Шербо А.П., Киселев А.В. Оценка риска воздействия факторов окружающей среды на здоровье. СПб.; 2005.
27. Губернский Ю.Д., Новиков С.М., Мацюк А.В. Оценка канцерогенного риска для здоровья населения городских микросред. В кн.: *Гигиеническая наука и практика на рубеже XXI века: Материалы IX Всероссийского съезда гигиенистов и санитарных врачей*. Том 1. М.; 2001: 407–10.
28. Рахманин Ю.А., Онищенко Г.Г. *Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду*. М.; 2002.
29. Шербо А.П., Мироненко О.В. Проблемы обращения с медицинскими отходами. *Биосфера*. 2013; 5(4): 419–25. <https://elibrary.ru/rwjnjan>
30. Зудинова Е.А., Тимофеева Т.В., Акимкин В.Г. Мероприятия по внедрению централизованной системы обеззараживания/обезвреживания медицинских отходов в Москве. *Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО*. 2016; (12): 40–3. <https://elibrary.ru/xdfcfr>
31. Мироненко О.В., Шербо А.П., Суший К.К., Козырин К.И., Сопрун Л.А. Эколого-гигиенические предпосылки и инженерные подходы к управлению медицинскими отходами. *Экология человека*. 2013; (6): 18–25. <https://elibrary.ru/qasumd>
32. Мироненко О.В., Суворова О.К. Организация лабораторного производственного контроля технологий термического обезвреживания медицинских отходов классов «Б» и «В». В кн.: *Современные достижения химико-биологических наук в профилактической и клинической медицине: Сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. СПб.; 2020: 286–92. <https://elibrary.ru/jhttku>
33. Баграйцев Г.И. Переработка отходов: европейский опыт и российский подход. *ЭКО*. 2016; (12): 36–40. <https://elibrary.ru/xahqnf>

## References

1. Aghajani Mir M., Taherei Ghazvinei P., Sulaiman N.M., Basri N.E., Saheri S., Mahmood N.Z., et al. Application of TOPSIS and VIKOR improved versions in a multi criteria decision analysis to develop an optimized municipal solid waste management model. *J. Environ. Manage.* 2016; 166: 109–15. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.09.028>
2. Babanyara Y.Y. Poor Medical Waste Management (MWM) practices and its risks to human health and the environment: a literature review. *Int. J. Environ. Health Sci. Eng.* 2013; 11(7): 1–8.
3. Barua U., Hossain D. A review of the medical waste management system at COVID-19 situation in Bangladesh. *J. Mater. Cycles Waste Manag.* 2021; 23(6): 2087–100. <https://doi.org/10.1007/s10163-021-01291-8>
4. Bucătaru C., Săvescu D., Repanovici A., Blaga L. The implications and effects of medical waste on development of sustainable society – a brief review of the literature. *Sustainability*. 2021; 13(6): 3300. <https://doi.org/10.3390/su13063300>
5. Rhee S.W. Management of used personal protective equipment and wastes related to COVID-19 in South Korea. *Waste Manag. Res.* 2020; 38(8): 820–4. <https://doi.org/10.1177/0734242X20933343>
6. Aung T.S., Luan S., Xu Q. Application of multi-criteria-decision approach for the analysis of medical waste management systems in Myanmar. *J. Clean. Prod.* 2019; 222: 733–45. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.049>
7. Thakur V., Ramesh A. Healthcare waste management research: A structured analysis and review (2005–2014). *Waste Manag. Res.* 2015; 33(10): 855–70. <https://doi.org/10.1177/0734242X15594248>
8. Mozzhukhina N.A., Nikonov V.A., Yalda K.D., Eremin G.B. Environmental hygienic aspects of medical waste management. *Zdorov'e – osnova chelovecheskogo potentsiala: problema i puti ikh resheniya*. 2017; 12(2): 518–26. <https://elibrary.ru/yoozyk> (in Russian)
9. Birpınar M.E., Bilgili M.S., Erdoğan T. Medical waste management in Turkey: A case study of Istanbul. *Waste Manag.* 2009; 29(1): 445–8. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.03.015>
10. Karagiannidis A., Papageorgiou A., Perkoulidis G., Sanida G., Samaras P. A multi-criteria assessment of scenarios on thermal processing of infectious hospital wastes: a case study for Central Macedonia. *Waste Manag.* 2010; 30(2): 251–62. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.08.015>
11. Li H., Li J., Zhang Z., Cao X. Establishing an interval-valued fuzzy decision-making method for sustainable selection of healthcare waste treatment technologies in the emerging economies. *J. Mater. Cycles Waste Manag.* 2020; 22: 501–14. <https://doi.org/10.1007/s10163-019-00943-0>
12. Pollutants P.O. *Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants*. Geneva; 2011.
13. Treger Yu.A. Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. Ways of its implementation in the Russian Federation. *Khimicheskaya fizika*. 2012; 31(10): 33. <https://elibrary.ru/pdytjt> (in Russian)
14. Tait P.W., Brew J., Che A., Costanzo A., Danyluk A., Davis M., et al. The health impacts of waste incineration: a systematic review. *Aust. N. Z. J. Public Health*. 2020; 44(1): 40–8. <https://doi.org/10.1111/1753-6405.12939>
15. Sergeev A.K., Suchkov V.V., Anisimov V.N. Complex assessment of population health risk exposed to pollutants in atmospheric air in Samara. *Smolenskiy meditsinskiy al'manakh*. 2016; (1): 213–6. <https://elibrary.ru/vwzyrp> (in Russian)
16. Revich B.A. Atmospheric air quality in megacities and risks to public health. In: Revich B.A., Kuznetsova O.V., eds. *Man in the Metropolis: An Experience of Interdisciplinary Research [Chelovek v megapolise: opyt mezhdistsiplinarnogo issledovaniya]*. Moscow: LENAND; 2018: 214–25. (in Russian)
17. Fedorov V.N., Tikhonova N.A., Novikova Yu.A., Kovshov A.A., Istorik O.A., Myasnikov I.O. Problems of outdoor air quality hygienic assessment in the cities of the Leningrad region. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(6): 657–64. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-6-657-664> <https://elibrary.ru/upgjlr> (in Russian)
18. Fridman K.B., Mironenko O.V., Belkin A.S., Noskov S.N., Magomedov Kh.K. Experimental basis for hygienic assessment methods using geotube dewatering during storage of municipal wastewater precipitants. *Vestnik Sankt-Petersburgskogo universiteta. Meditsina*. 2017; 12(2): 202–11. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu11.2017.209> <https://elibrary.ru/zdotfn> (in Russian)
19. Sicard P., Agathokleous E., De Marco A., Paoletti E., Calatayud V. Urban population exposure to air pollution in Europe over the last decades. *Environ. Sci. Eur.* 2021; 33(1): 28. <https://doi.org/10.1186/s12302-020-00450-2>
20. Kiselev A.V., Grigor'eva Ya.V. Application of the results of atmospheric air pollution calculation for social and hygienic monitoring. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2017; 96(4): 306–9. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-4-306-309> <https://elibrary.ru/ykuqhr> (in Russian)
21. Bakirov A.B., Suleymanov R.A., Valeev T.K., Baktybaeva Z.B., Rakhmatullin N.R., Stepanov E.G., et al. Ecological and hygienic assessment of the carcinogenic risk to the health of the population of the technogenic territories of the Republic of Bashkortostan. *Meditsina truda i ekologiya cheloveka*. 2018; (3): 5–12. <https://elibrary.ru/yymmofb> (in Russian)
22. Klepikov O.V., Kurolap S.A., Sedykh V.A. Monitoring of atmospheric air pollution and assessment of carcinogenic risks for the health of the population of the city of Lipetsk. *Regional'nye geosistemy*. 2021; 45(2): 236–45. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2021-45-2-236-245> <https://elibrary.ru/jgkxtw> (in Russian)
23. Popova A.Yu., Gurvich V.B., Kuz'min S.V., Mishina A.L., Yarushin S.V. Modern issues of the health risk assessment and management. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2017; 96(12): 1125–9. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-12-1125-1129> <https://elibrary.ru/yqxmne> (in Russian)
24. Mironenko O.V., Kiselev A.V., Noskov S.N., Pan'kin A.V., Magomedov Kh.K., Shengeliya Z.N., et al. Forecasting morbidity and assessing health risks when performing hygienic studies related to chemical exposure factors. *Vestnik Sankt-Petersburgskogo universiteta. Meditsina*. 2017; 12(4): 419–28. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu11.2017.410> <https://elibrary.ru/ymsxjf> (in Russian)
25. Rakhmanin Yu.A., Novikov S.M., Avaliani S.L., Sinitsyna O.O., Shashina T.A. Actual problems of environmental factors risk assessment on human health and ways to improve it. *Analiz riska zdorov'yu*. 2015; (2): 4–9. <https://elibrary.ru/cwdqgf> (in Russian)
26. Shcherbo A.P., Kiselev A.V. *Assessment of the Risk of Exposure to Environmental Factors on Health [Otsenka riska vozdeystviya faktorov okruzhayushchey sredy na zdorov'e]*. St. Petersburg; 2005. (in Russian)
27. Gubernskiy Yu.D., Novikov S.M., Matsyuk A.V. Assessment of carcinogenic risk for public health in urban microenvironments. In: *Hygienic Science and Practice at the Turn of the XXI Century: Materials of the IX All-Russian Congress of Hygienists and Sanitary Doctors. Volume 1 [Gigienicheskaya nauka i praktika na rubezhe XXI veka: Materialy IX Vserossiyskogo s'ezda gigienistov i sanitarnykh vrachey. Tom I]*. Moscow; 2001: 407–10. (in Russian)
28. Rakhmanina Yu.A., Onishchenko G.G. *Fundamentals of Risk Assessment for Public Health under the Influence of Chemicals Polluting the Environment [Osnovy otsenki riska dlya zdorov'ya naseleniya pri vozdeystvii khimicheskikh veshchestv, zagryaznyayushchikh okruzhayushchuyu sredyu]*. Moscow; 2002. (in Russian)
29. Shcherbo A.P., Mironenko O.V. Problems of medical waste management. *Biosfera*. 2013; 5(4): 419–25. <https://elibrary.ru/rwjnjan> (in Russian)
30. Zudinova E.A., Timofeeva T.V., Akimkin V.G. Measures to introduce centralized system of disinfection/decontamination of medical waste in Moscow. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya – ZNiSO*. 2016; (12): 40–3. <https://elibrary.ru/xdfcfr> (in Russian)

31. Mironenko O.V., Shcherbo A.P., Sushchii K.K., Kozyrin K.I., Soprun L.A. Ecologo-hygienic preconditions and engineering approaches to medical waste management. *Ekologiya cheloveka*. 2013; (6): 19–24. <https://elibrary.ru/qasumd> (in Russian)
32. Alvim-Ferraz M.C., Afonso S.A. Incineration of different types of medical wastes: emission factors for particulate matter and heavy metals. *Environ. Sci. Technol.* 2003; 37(14): 3152–7. <https://doi.org/10.1021/es026209p>
33. Shaik S.R., Mahalingam A.K., Palanisamy M., Kalita P.C. Comprehensive review on medical waste incineration. *Int. J. Glob. Warm.* 2022; 27(1): 16–54. <https://doi.org/10.1504/IJGW.2022.122793>
34. Giakoumakis G., Politi D., Sidiras D. Medical waste treatment technologies for energy, fuels, and materials production: A review. *Energies*. 2021; 14(23): 8065. <http://doi.org/10.3390/en14238065>
35. Mironenko O.V., Suvorova O.K. Organization and monitoring independent work of students in chemistry using electronic learning tools. In: *Modern Achievements of Chemical and Biological Sciences in Preventive and Clinical Medicine: A Collection of Scientific Papers of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation [Sovremennye dostizheniya khimiko-biologicheskikh nauk v profilakticheskoy i klinicheskoy meditsine: Sbornik nauchnykh trudov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem]*. St. Petersburg; 2020: 286–92. <https://elibrary.ru/jhttku> (in Russian)
36. Bagryantsev G.I. Recycling: European experience and Russian approach. *EKO*. 2016; (12): 36–40. <https://elibrary.ru/xahqnf> (in Russian)
37. Windfeld E.S., Brooks M.S. Medical waste management – a review. *J. Environ. Manage.* 2015; 163: 98–108. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.08.013>