



Сравнительная гигиеническая характеристика российских технологий автоклавирования и сжигания медицинских отходов классов Б и В

О.В. Мироненко^{1,2}, С.Н. Носков^{1,3}, Х.К. Магомедов¹, Е.А. Федорова¹, Д.А. Обухов¹

¹ ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России, Пискаревский проспект, д. 47, г. Санкт-Петербург, 191015, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»,

Менделеевская линия, д. 2, г. Санкт-Петербург, 199034, Российская Федерация

³ ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора, 2-я Советская ул., д. 4, г. Санкт-Петербург, 191036, Российская Федерация

Резюме

Введение. Полная утрата инфекционных свойств и изменение морфологического состава медицинских отходов достигаются преимущественно термическими методами. Однако отсутствует система оценки, позволяющая с учетом преимуществ и недостатков технологий выбрать оптимальный метод обезвреживания медицинских отходов.

Цель исследования. Дать гигиеническую характеристику технологий высокотемпературного и низкотемпературного термического обезвреживания медицинских отходов и оценить их воздействие на атмосферный воздух и здоровье населения в зоне их влияния с целью последующего обоснования комплекса профилактических мероприятий при использовании данных технологий.

Материалы и методы. В 2017–2022 гг. проведены экспериментальные исследования установок пиролизического сжигания и низкотемпературного обезвреживания в г. Санкт-Петербурге. С использованием программы УПРЗА «Эколог» рассчитаны поля рассеивания выбросов установок термического обезвреживания медицинских отходов, максимальные разовые и среднесуточные приземные концентрации загрязняющих веществ, а также выполнена оценка хронического канцерогенного и неканцерогенного риска здоровью населения на основании Р 2.1.10.3968–23.

Результаты. Проведена оценка влияния выбросов установок высоко- и низкотемпературного обезвреживания медицинских отходов на атмосферный воздух и здоровье населения. При пиролизическом сжигании в атмосферу поступает 28 загрязняющих веществ. Максимальные значения канцерогенного риска от высокотемпературной установки достигает бенз(а)пирен, максимальные уровни хронического неканцерогенного риска диоксида серы, взвешенных веществ, азота диоксида и бенз(а)пирена превышают допустимые значения. Для установки пиролизического сжигания установлены неприемлемые уровни неканцерогенного риска: для органов дыхания – 8,07; случаев дополнительной смертности – 6,89; процессов развития – 2,43; кроветворной – 1,18 и иммунной – 1,12 системы. Для низкотемпературной технологии выбросы представлены 7 веществами преимущественно III класса опасности, максимальные значения канцерогенного и неканцерогенного риска не превышают допустимых значений.

Заключение. Наибольшее негативное воздействие на здоровье населения оказывает установка пиролизического сжигания, для его снижения необходим комплекс профилактических мероприятий, обеспечивающий снижение неканцерогенного риска до допустимых значений.

Ключевые слова: оценка риска здоровью, технологии термического обезвреживания, канцерогенный риск, неканцерогенный риск, медицинские отходы, пиролизическое сжигание, автоклавирование.

Для цитирования: Мироненко О.В., Носков С.Н., Магомедов Х.К., Федорова Е.А., Обухов Д.А. Сравнительная гигиеническая характеристика российских технологий автоклавирования и сжигания медицинских отходов классов Б и В // Здоровье населения и среда обитания. 2026. Т. 34. № 2. С. 81–92. doi: 10.35627/2219-5238/2026-34-2-81-92

Comparative Hygienic Characteristics of Russian Technologies for Autoclaving and Pyrolysis of Categories B and C Medical Waste

Olga V. Mironenko,^{1,2} Sergey N. Noskov,^{1,3} Khamzat K. Magomedov,¹
Ekaterina A. Fedorova,¹ Denis A. Obukhov¹

¹ North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, 41 Kirochnaya Street, Saint Petersburg, 191015, Russian Federation

² St. Petersburg State University, 7–9 Universitetskaya Embankment, Saint Petersburg, 199034, Russian Federation

³ North-West Public Health Research Center, 4, 2nd Sovetskaya Street, Saint Petersburg, 191036, Russian Federation

Summary

Introduction: The complete elimination of infectious properties and alteration of the morphological composition of medical waste are achieved primarily through thermal treatment methods. However, there exists no assessment system that, given the advantages and drawbacks of each technology, allows for the selection of the optimal waste decontamination technique.

Objective: To provide hygienic characteristics of healthcare waste high- and low-temperature treatment technologies and to assess their impact on ambient air and human health in the affected area in order to substantiate a set of appropriate preventive measures.

Materials and Methods: Between 2017 and 2022, experimental testing of pyrolysis and low-temperature medical waste treatment plants was carried out in St. Petersburg. Using the “Ecolog” unified software for calculating ambient air pollution, we modeled emission dispersion patterns from the thermal treatment installations and determined maximum single and average daily ground-level concentrations of chemicals. Furthermore, a comprehensive assessment of chronic carcinogenic and non-carcinogenic health risks was conducted in accordance with Russian Guidelines R 2.1.10.3968–23.

Results: We assessed the impact of emissions from high- and low-temperature medical waste treatment facilities on ambient air quality and human health. Pyrolysis was found to emit 28 pollutants. The maximum carcinogenic risk from the high-temperature facility was associated with benzo[a]pyrene; the highest chronic non-carcinogenic risk levels from sulfur dioxide, particulate matter, nitrogen dioxide, and benzo[a]pyrene exceeded the permissible limits. Unacceptable levels of

non-carcinogenic risk were established for the pyrolysis plant: 8.07 for the respiratory system; 6.89 for additional death cases; 2.43 for developmental processes; 1.18 for the hematopoietic system, and 1.12 for the immune system. The low-temperature treatment technique was found to emit seven chemicals, predominantly of hazard class III, with maximum carcinogenic and non-carcinogenic risk values below the permissible limits.

Conclusion: The pyrolysis plant poses the highest non-carcinogenic health risks, thus necessitating comprehensive preventive measures aimed to mitigate them to acceptable levels.

Keywords: health risk assessment, thermal treatment technologies, carcinogenic risk, non-carcinogenic risk, medical waste, pyrolysis, autoclaving.

Cite as: Mironenko OV, Noskov SN, Magomedov KhK, Fedorova EA, Obukhov DA. Comparative hygienic characteristics of Russian technologies for autoclaving and pyrolysis of categories B and C medical waste. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2026;34(2):81–92. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2026-34-2-81-92

Введение. Ненадлежащее обращение с медицинскими отходами без эффективного обезвреживания приводит к неблагоприятным последствиям для окружающей среды и здоровья населения [1]. Эффективное обращение с медицинскими отходами включает в себя ряд этапов и действий, но именно применение технологии термического обезвреживания медицинских отходов играет ключевую роль в управлении медицинскими отходами [2–4]. В медицинских организациях образуются различные по фракционному составу и степени опасности медицинские отходы, поэтому управление данной системой на всех этапах становится не только санитарно-эпидемиологической, но и экологической проблемой, оптимальное решение которой напрямую связано с правовыми вопросами [5–11].

Полная утрата инфекционных свойств и изменение морфологического состава медицинских отходов могут быть достигнуты только термическими методами [10]. В России в отношении медицинских отходов класса Б обезвреживание может проводиться в самих медицинских организациях (МО), на специально выделенных площадках или за счет крупных мусоросжигательных центров [1, 12–14].

На сегодняшний день в практике используются следующие термические методы обработки медицинских отходов: на основе применения сухого горячего воздуха, пара под давлением (автоклавирование), СВЧ-технологии, сжигание (классическое и пиролизное сжигание, плазменные технологии) и другие методы обработки (автоматизированная химическая обработка) [2, 14–16].

На современном этапе российский рынок технологий обезвреживания достаточно наполнен, однако каждая из технологий обезвреживания имеет свои достоинства и недостатки [13, 14, 17–19]. Но основными критериями для выбора технологии обезвреживания являются: количество образующихся отходов классов Б или В в год; виды медицинской деятельности; характеристика помещения для размещения участка обезвреживания; близость размещения участка к жилым кварталам и лечебным корпусам и наличие системы экологической безопасности в самой технологии.

Однако отсутствует система оценки, которая позволит, учитывая преимущества и недостатки технологий обезвреживания медицинских отходов, решить, какой метод необходимо применить в каждом конкретном случае [16, 20–26]. В этой связи зарубежные авторы 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 [2, 10, 13, 16].

Материалы и методы. Исследования проводились на базе установки пиролизного сжигания, расположенной в г. Санкт-Петербурге в период с 2017 по 2021 г. и на базе установки низкотемпературного обезвреживания (воздействие пара под давлением), расположенной в г. Санкт-Петербурге, в период с 2018 по 2022 г.

Первый этап работы включал в себя гигиеническую характеристику технологий автоклавирования и пиролизного обезвреживания.

Установка пиролизного сжигания расположена в г. Санкт-Петербурге. Размер санитарно-защитной зоны 300 м. Температурный режим работы соответствует от 700 до 1200 °С. Производительность установки – 200 кг/час; 1500 тонн в год, от 3 до 5 тонн в сутки. Установка работает на дизельном топливе. Данная установка является установкой по пиролизному сжиганию, которая зарегистрирована на территории РФ и имеет соответствующую разрешительную документацию [12].

Модель установки ИФШД.2061.00.00.000 по обезвреживанию отходов производства и потребления, медицинских и биологических отходов имеет две модификации, состоящие из следующих агрегатов:

1. Базовая: шлюзовое устройство загрузки; камеры термического пиролиза; камеры дожигания; камеры закалки; системы отопления; системы электропитания; системы дымоудаления; автоматизированной системы управления на базе программируемых логических контроллеров.

2. Полная (расширенная): шлюзовое устройство загрузки; камеры термического пиролиза; камеры дожигания; камеры закалки; системы отопления; системы электропитания; системы дымоудаления; автоматизированной системы управления на базе программируемых логических контроллеров; системы дополнительной очистки газообразных выбросов от пыли и хлорида водорода в составе: полусухого скруббера и системы хранения / подачи рабочего раствора.

Принцип работы установки основан на применении термического пиролиза с системой дожигания отходящих газов. Установка обеспечивает разложение отходов под действием тепла без доступа кислорода, что позволяет избежать образования диоксинов, фуранов и пр. В результате пиролиза получают газообразные продукты, которые поступают в камеру дожигания, где полностью

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2026-34-2-81-92>
Оригинальная исследовательская статья

окисляются при высокой температуре. Затем продукты пиролиза разбавляются воздухом и выбрасываются в атмосферу.

Установка «Балтнер», расположенная в многопрофильном стационаре г. Санкт-Петербурга, предназначена для утилизации медицинских отходов классов Б и В путем термического обеззараживания (воздействие горячим паром при температуре 114 °С под давлением в условиях вакуума) с последующим прессованием. Данный метод обеспечивает полную дезинфекцию всех видов медицинских отходов и утрату их товарных свойств. При дезинфекции паром в условиях вакуума обеспечивается проникновение пара во все полости дезинфицируемого материала, что обеспечивает равномерное уничтожение болезнетворных бактерий. Данная установка зарегистрирована на территории РФ и имеет соответствующую разрешительную документацию.

Вторым этапом была оценка технологии высокотемпературного обезвреживания – пиролизического сжигания (ИФШД.2061.00.00.000) и низкотемпературного обезвреживания – воздействие пара под давлением (Балтнер). Для оценки количественного и качественного воздействия установок термического обезвреживания медицинских отходов на атмосферный воздух и выбора приоритетных загрязнителей для последующей оценки их воздействия на здоровье были использованы протоколы производственного контроля аккредитованных лабораторий.

Расчет среднегодовых концентраций выполнен в унифицированной программе расчета загрязнения атмосферного воздуха «Эколог» фирмы Интеграл (версия 4.6), с модулем расчетного блока «Средние 4.6», который предназначен для определения концентраций химических веществ в атмосферном воздухе, осредненных за длительный период. Расчетные точки были выбраны на ближайшей нормируемой территории. Для расчета среднегодовых концентраций установки пиролизического сжигания на границе жилой застройки (в зоне влияния установок по обезвреживанию медицинских отходов) выбраны шесть точек, а для расчета среднегодовых концентраций установки автоклавирования на границе жилой застройки выбраны три точки.

В соответствии с Руководством Р 2.1.10.3968–23¹ проведена оценка риска здоровью населения, проживающего в зоне воздействия технологий термического обезвреживания медицинских отходов, которая включает в себя несколько последовательных этапов [27–32]. На первом этапе оценке риска собраны и проанализированы данные о химических веществах, выбрасываемых в атмосферный воздух, оценено и их потенциально вредных воздействиях на здоровье населения в зоне функционирования установок термического медицинских отходов, определен предварительный сценарий и маршруты их воздействия, все химические вещества на основе рассчитанных индексов проранжированы по степени сравнительной канцерогенной и неканцерогенной опасности, определены наиболее опасные загрязни-

тели, представляющие угрозу здоровью населения, для дальнейшей оценки экспозиции, зависимости «доза-эффект», расчета и характеристики рисков.

Количественная оценка риска развития неканцерогенных эффектов при хроническом ингаляционном воздействии рассчитывалась по величине коэффициента опасности (HQ). Для оценки одновременного поступления нескольких химических веществ по их неканцерогенным эффектам использовался индекс опасности (HI).

Статистическая обработка полученных данных выполнялась на персональном компьютере с использованием пакета прикладных программ Microsoft Office (2020 г.). Статистический анализ проводился с использованием языка статистического программирования R (версия 4.1.2). Для обработки результатов исследований использовались методы описательной статистики: оценивалась характеристика изучаемой выборки, вычислялись среднее арифметическое со стандартной ошибкой средней и стандартное отклонение, для оценки средних тенденций использовалась медиана (Md); для оценки изменчивости признаков – нижний (Q1) и верхний (Q3) квартили. Для определения достоверности различия результатов применялись значения непараметрического U-критерия Манна – Уитни. Минимальным уровнем значимости принималось значение 0,05.

Результаты. При эксплуатации технологии пиролизического сжигания в атмосферу Санкт-Петербурга выбрасываются 28 загрязняющих веществ, в том числе 13 твердых и 15 газообразных, 8 групп веществ, обладающих эффектом комбинированного вредного действия (табл. 1). По классам опасности: 7 – первого, 9 – второго, 8 – третьего, 4 – четвертого класса.

Средняя суммарная масса выбросов загрязняющих веществ для установки пиролизического сжигания медицинских отходов составляет: 9 461 535 т/год, из них: твердых – 4 462 538 т/год, жидких и газообразных – 4 998 997 т/год. Основной объем валового выброса (99,97 %) составляют взвешенные вещества – 47,15 %, сера диоксид – 29,41 %, азота диоксид (диоксид азота; пероксид азота) – 23,18 %, азот (II) оксид (азот монооксид) – 0,14 %, вклад остальных 24 веществ составляет 0,12 %.

Из всех перечисленных выше химических веществ существенный вклад в загрязнение атмосферного воздуха вносят: азота диоксид, азот (II) оксид, сера диоксид и взвешенные вещества, их необходимо учитывать и включать в программу производственного контроля установок пиролизического сжигания, а также учитывать при организации мониторинга атмосферного воздуха в зоне работы данной установки. Также в обязательный перечень следует внести химические вещества, образующиеся при сжигании полимерных медицинских отходов: диоксины и бенз(а)пирен.

Для дальнейшей оценки негативного влияния установки высокотемпературного обезвреживания медицинских отходов на здоровье населения из 28 загрязняющих веществ выбраны 13 приоритетных

¹ Руководство Р 2.1.10.3968–23 «Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания». М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2023. 320 с.

Таблица 1. Суммарная масса выбросов по приоритетным загрязняющим веществам от установки пиролизического сжигания**Table 1. Total mass of emissions from the pyrolysis plant by priority pollutants**

Код / Code	Загрязняющие вещества / Pollutants	Масса выбросов, т/год / Emissions mass, tons per year	Md [Q1;Q3]	Класс опасности / Hazard Class
133	Кадмий оксид / Cadmium oxide	0,000053	0,0000584 [0,0000351; 0,0000655]	1
183	Ртуть / Mercury	0,000681	0,000661 [0,000585; 0,000818]	1
301	Азота диоксид / Nitrogen dioxide	2193,251	2249,695 [1951,162; 2479,414]	3
304	Азот (II) оксид / Nitrogen monoxide	13,316	12,476 [10,991; 15,371]	3
316	Гидрохлорид / Hydrochloride	0,013316	0,014353 [0,008527; 0,017603]	2
330	Сера диоксид / Sulfur dioxide	2782,236	2730,099 [2426,637; 3184,37715]	3
342	Фтористые газообразные соединения / Gaseous fluorine compounds	0,006392	0,006425 [0,005457; 0,007645]	2
703	Бенз/а/пирен / Benzo[a]pyrene	0,052	0,055 [0,041; 0,066]	1
416	Смесь предельных углеводородов $C_6H_{14} - C_{10}H_{22}$ / Mixture of saturated hydrocarbons from $C_6H_{14} - C_{10}H_{22}$	0,002957	0,002701 [0,002309; 0,003297]	3
415	Смесь предельных углеводородов $C_1H_4 - C_5H_{12}$ / Mixture of saturated hydrocarbons from $C_1H_4 - C_5H_{12}$	0,000862	0,000858 [0,000529; 0,001122]	4
3620	Диоксины / Dioxins	1,14E-08	1,19E-08 [8,725-09; 1,3675-08]	1
2902	Взвешенные вещества / Particulate matter	4461,403	4436,128 [4085,646; 4948,431]	3
2754	Алканы C 12-19 (в пересчете на C) / Alkanes C 12-19 (expressed as C)	2,871	2,484 [1,821-3,799]	4

компонентов на основании количественных показателей и степени их токсического воздействия, представленных в табл. 1.

От установки низкотемпературного воздействия в атмосферный воздух поступает семь загрязняющих компонентов, объемы и вклад которых представлены в табл. 2. Выбросы загрязняющих веществ представлены в основном веществами III класса опасности (умеренно опасные) – 61,09 %, выбросы чрезвычайно опасных веществ (I класс) отсутствовали.

Из всех перечисленных выше химических веществ существенный вклад в загрязнение атмосферного воздуха вносят: метилбензол, 2-бутоксизанол, бутан-1-ол, бензол, пропан-1-ол, этилбензол, ди-

метилбензол, их необходимо учитывать и включать в программу производственного контроля установок автоклавирования, а также учитывать при организации мониторинга атмосферного воздуха в зоне работы данной установки.

Определение гигиенической приоритетности примесей, выбрасываемых в атмосферный воздух, осуществлялось в соответствии с методикой расчета ранговых индексов канцерогенной и неканцерогенной опасности содержащихся в выбросах веществ, принятой в Руководстве по оценке риска Р 2.1.10.3968–23². В результате первого этапа выявлено 6 химических веществ в выбросах установки сжигания медицинских отходов, которые по данным СанПиН 1.2.3685–21³, Р 2.1.10.3968–23

Таблица 2. Объем валового выброса от установки низкотемпературного обезвреживания медицинских отходов**Table 2. Gross emissions from the low-temperature medical waste treatment unit**

Код / Code	Наименование вещества / Chemical	Класс опасности / Hazard Class	Валовый выброс, т/г / Gross Emission, tons per year	Вклад, % / Contribution, %	Ранг / Rank
1140	2-Бутоксиэтанол / 2-Butoxyethanol	–	665,825	29,8	1
621	Метилбензол (Фенилметан) / Methylbenzene (Phenylmethane)	3	369,9	16,56	2
1042	Бутан-1-ол (Бутиловый спирт) / Butan-1-ol (Butyl alcohol)	3	332,9	14,9	3
1054	Пропан-1-ол / Propan-1-ol	3	258,925	11,59	4
616	Диметилбензол (смесь о-, м-, п-изомеров) (Метилтолуол) / Dimethylbenzene (mixture of o-, m-, p-isomers) (Methyltoluene)	3	218,25	9,769	5
602	Бензол (Циклогексатриен; фенилгидрид) / Benzene (Cyclohexatriene; phenyl hydride)	2	184,95	8,278	6
627	Этилбензол (Фенилэтан) / Ethylbenzene (Phenylethane)	3	184,95	8,278	6
1061	Этанол (Этиловый спирт; метилкарбинол) / Ethanol (Ethyl alcohol; methylcarbinol)	4	18,5	0,828	8

² Руководство Р 2.1.10.3968–23 «Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания».

³ СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2022. 668 с.

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2026-34-2-81-92>

Оригинальная исследовательская статья

и Международного агентства по изучению рака при ингаляционном пути поступления в организм обладают канцерогенным действием: сера диоксид, ртуть, оксид кадмия, гидрохлорид (водород хлорид), бенз/а/пирен, диоксины. Фактор канцерогенного потенциала (SFi) разработан только для 3 канцерогенов (оксид кадмия, бенз/а/пирен, диоксины). В выбросах установки низкотемпературного воздействия присутствуют 5 канцерогенов: диметилбензол, бензол, метилбензол, 2-бутоксизтанол, этилбензол. Но только для бензола и этилбензола существует фактор канцерогенного потенциала (SFi).

На основании выполненного количественного и качественного анализа промышленных выбросов для дальнейшей оценки риска от установки вы-

сокотемпературного воздействия выбрано 7 приоритетных загрязняющих веществ, в том числе 3 канцерогена; от установки автоклавирования – 7 химических веществ, в том числе 3 канцерогена.

С учетом выбранного сценария осуществлялся анализ имеющихся данных об уровнях хронического воздействия химических веществ на человека – концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе в предполагаемых точках воздействия (расчетных точках), координаты расчетных точек и их расположение представлены в табл. 3.

Следующим этапом работы стал расчет среднегодовых концентраций химических веществ, выбрасываемых в атмосферный воздух, в расчетных точках на границе жилой застройки (табл. 4).

Таблица 3. Координаты расчетных точек и их расположение

Table 3. Coordinates of measurement points and their location

№	Координаты точки (m) / Point coordinates (m)		Расположение точки / Location of the point
	X	Y	
Установка пиролизического сжигания / Pyrolysis plant			
1	1441,4	271,4	Жилой дом (пр. Обуховской обороны, д. 144) / Residential building (144 Obukhovskoy Oborony Avenue)
2	184,1	1422,3	Жилой дом (3-й Рабфаковский пер., д. 5, корп. 3) / Residential building (Bldg 3, 5, 3 rd Rabfakovsky Lane)
3	295	1340,6	Центр социальной реабилитации инвалидов Невского района / Nevsky District Center for Social Rehabilitation of People with Disabilities
4	62,1	1412,1	СНТ «Звездочка», 72 / 72, Zvezdochka community garden
5	−1653	−719	Жилой дом (ул. Малая Карпатская, д. 23, к. 1) / Residential building (Bldg 1, 23 Malaya Karpatskaya Street)
6	−2231,4	546,4	Жилой дом (Дунайский пр., д. 55, к. 1) / Residential building (Bldg 1, 55 Dunaisky Avenue)
Установка автоклавирования / Autoclave			
1	675,40	559,40	Жилой дом (Арсенальная улица, д. 1, лит. А) / Residential building (1A Arsenalnaya Street)
2	679,00	638,90	Жилой дом (Кондратьевский проспект, д. 1, лит. А) / Residential building (1A Kondratievsky Avenue)
3	336	500	Жилой дом (ул. Комсомола, д. 5) / Residential building (5 Komsomol Street)

Таблица 4. Значения концентраций загрязняющих компонентов в расчетных точках

Table 4. Ranges of pollutant concentrations at measurement points

Код / Code	Наименование вещества / Chemical	На жилой территории / In a residential area	
		мин / min	макс / max
Установка пиролизического сжигания / Pyrolysis plant			
301	Азота диоксид / Nitrogen dioxide	1,4E-02	4,7E-02
133	Кадмий оксид / Cadmium oxide	3,3E-10	1,1E-09
330	Сера диоксид / Sulfur dioxide	1,7E-02	5,9E-02
2902	Взвешенные вещества / Particulate matter	0,028	0,095
304	Азот оксид / Nitrogen oxide	8,4E-05	2,8E-04
3620	Диоксины / Dioxins	7,2E-14	2,4E-13
703	Бенз(а)пирен / Benzo[a]pyrene	3,3E-07	1,1E-06
Установка автоклавирования / Autoclaving installation			
1140	2-Бутоксиэтанол / 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

Характеристика канцерогенного и неканцерогенного риска проводилась с использованием среднегодовых концентраций, полученных в результате моделирования распространения и поведения химических веществ в атмосферном воздухе.

От установки пиролизического сжигания в расчетных точках оценивали вероятность развития индивидуального канцерогенного риска от воздействия кадмий оксида, бенз/а/пирена, диоксинов; от установки автоклавирования – от воздействия бензола, этилбензола.

Максимальные значения канцерогенного риска в расчетных точках от установки высокотемпературного обезвреживания у бенз/а/пирена достигли значения $1,25\text{E}-06$ и соответствуют второму диапазону риска. От диоксинов они достигают значения $1,04\text{E}-08$, оксида кадмия – $2,04\text{E}-09$, что соответствует первому диапазону риска (рис. 1).

Максимальные значения канцерогенного риска от установки низкотемпературного обезвреживания от воздействия этилбензола в расчетных точках достигают значения $5,5\text{E}-08$; от бензола – $3,8\text{E}-07$, что соответствует первому диапазону риска (рис. 2).

Изучение степени выраженности токсических свойств загрязняющих веществ, выбрасываемых

в атмосферный воздух от установки пиролизического сжигания медицинских отходов по величине индекса сравнительной неканцерогенной опасности показало, что 99,99 % вклада в суммарный индекс неканцерогенной опасности вносят 5 веществ: взвешенные вещества, сера диоксид, азота диоксид (диоксид азота, пероксид азота), бенз(а)пирен, азот (II) оксид (азот монооксид). Вклад остальных 8 веществ составляет 0,01 %.

Величина индекса сравнительной неканцерогенной опасности от автоклавирования показала, что 99,96 % вклада в суммарный индекс неканцерогенной опасности вносят 7 веществ: диметилбензол, бензол, пропан-1-ол, этилбензол, 2-бутоксизанол, метилбензол, бутан-1-ол, вклад оставшегося этанола составляет 0,04 %.

На основании анализа системной и органотропной направленности действия выбранных приоритетных загрязняющих веществ в выбросах высокотемпературного обезвреживания прежде всего прогнозируется увеличение общетоксических эффектов на органы дыхания; в выбросах установок низкотемпературного обезвреживания в первую очередь возможно увеличение общетоксических эффектов, проявляющихся со стороны органов центральной нервной системы.

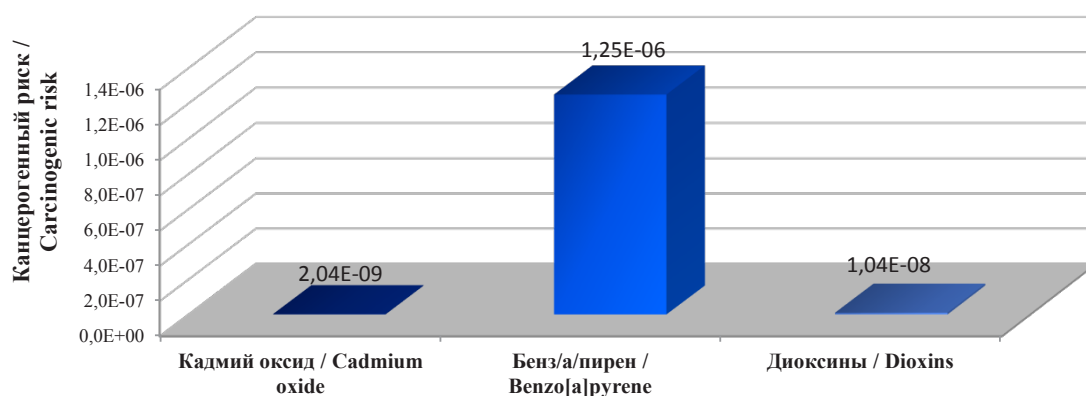


Рис. 1. Максимальные значения индивидуального канцерогенного риска в расчетных точках при воздействии установки по пиролизическому сжиганию медицинских отходов

Fig. 1. Maximum values of individual carcinogenic risk at measurement points affected by pyrolysis emissions

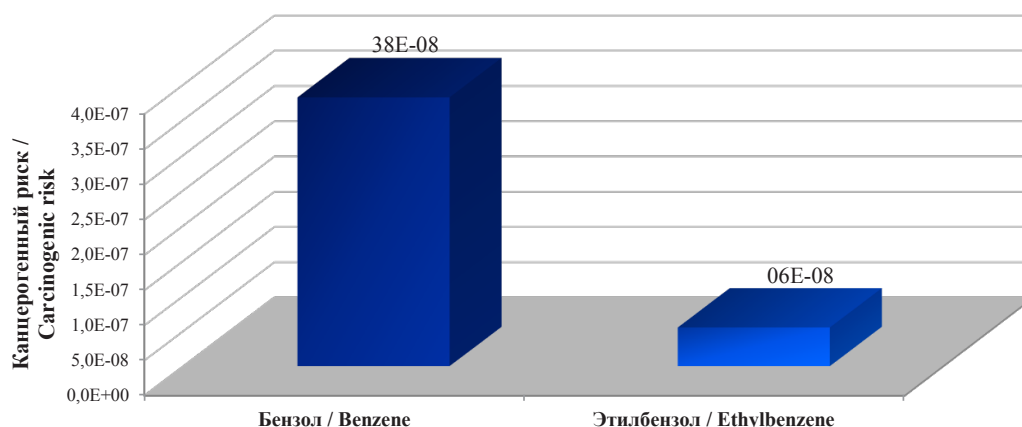


Рис. 2. Максимальные значения индивидуального канцерогенного риска в расчетных точках при воздействии установки автоклавирования

Fig. 2. Maximum values of individual carcinogenic risk at measurement points affected by autoclave emissions

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2026-34-2-81-92>
Оригинальная исследовательская статья

Количественная оценка риска развития неканцерогенных эффектов при хроническом ингаляционном воздействии рассчитывалась по величине коэффициента опасности (HQ). Для оценки одновременного поступления нескольких химических веществ по их неканцерогенным эффектам использовался индекс опасности (HI).

Вероятность развития неканцерогенных эффектов в расчетных точках была оценена по воздействию от всех приоритетных веществ. Рассчитаны хронический неканцерогенный риск в расчетных точках для приоритетных загрязняющих веществ и суммарные индексы опасности при воздействии на критические органы и системы, оценено влияние выбросов на процессы развития. Суммарные индексы опасности при воздействии на основные критические органы и системы представлены на рис. 3–4.

Оценка хронического неканцерогенного риска показала, что при воздействии установки пиролизного сжигания медицинских отходов уровни риска от воздействия оксида кадмия, оксида азота и диоксинов на рассматриваемой территории не превышают допустимых значений риска. Максимальные уровни хронического неканцерогенного риска от воздействия диоксида серы превышают допустимые значения риска и составляют значение 2,95; от воздействия взвешенных веществ – 1,27; от воздействия азота диоксида – 1,18; от воздействия бенз(а)пирена – 1,12.

Величины суммарных индексов опасности по влиянию на эндокринную и репродуктивную систе-

мы, почки, печень, а также на системный эффект не превышают допустимых значений. Максимальные показатели суммарных индексов опасности по влиянию на органы дыхания превышают допустимые значения и составляют 8,07; по влиянию на случаи дополнительной смертности – 6,89; по влиянию на процессы развития – 2,43; по влиянию на кроветворную систему – 1,18; по влиянию на иммунную систему – 1,12. Для остальных органов и систем значения риска не превысят $6,3E-05$. Данные уровни риска были оценены как неприемлемые для населения.

Оценка хронического неканцерогенного риска показала, что при воздействии установок низкотемпературного обезвреживания уровни риска от воздействия всех приоритетных загрязняющих веществ не превышают допустимых значений. Максимальные значения коэффициентов опасности в расчетных точках при хроническом воздействии загрязняющих веществ обусловлены воздействием диметилбензола – 0,060.

Величины суммарных индексов опасности на все приоритетные органы и системы не превышают допустимых значений. Максимальное значение индекса опасности воздействия в расчетных точках составляют для центральной нервной системы – 0,069; для органов дыхательной системы – 0,062; для влияния на почки и печень – 0,06; для остальных органов и систем значения риска не превысят 0,0038.

Обсуждение

Сравнительная оценка суммарных индексов опасностей технологий высокотемпературного

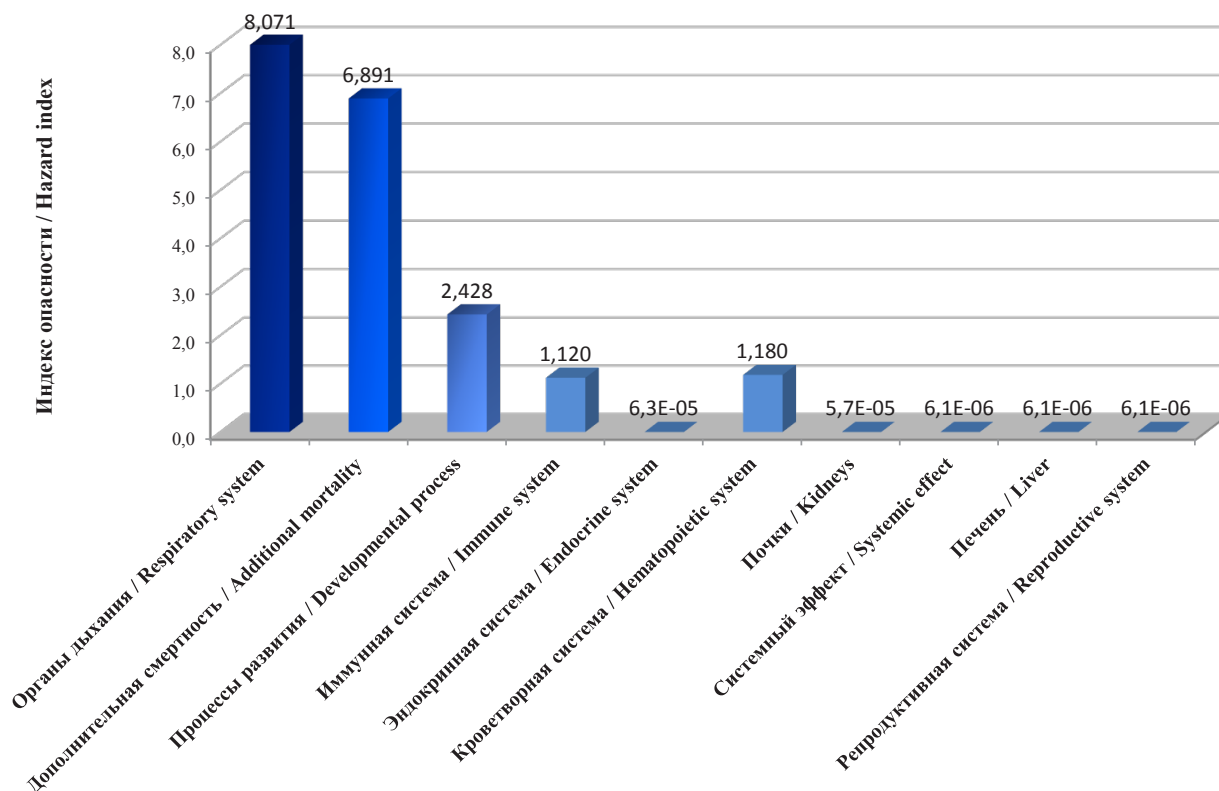


Рис. 3. Максимальные значения суммарных индексов опасностей по влиянию на критические органы и системы при одновременном поступлении приоритетных загрязнителей установки пиролизного сжигания

Fig. 3. Maximum values of total hazard indices for effects on critical organs and systems of the combined exposure to priority pollutants from the pyrolysis plant

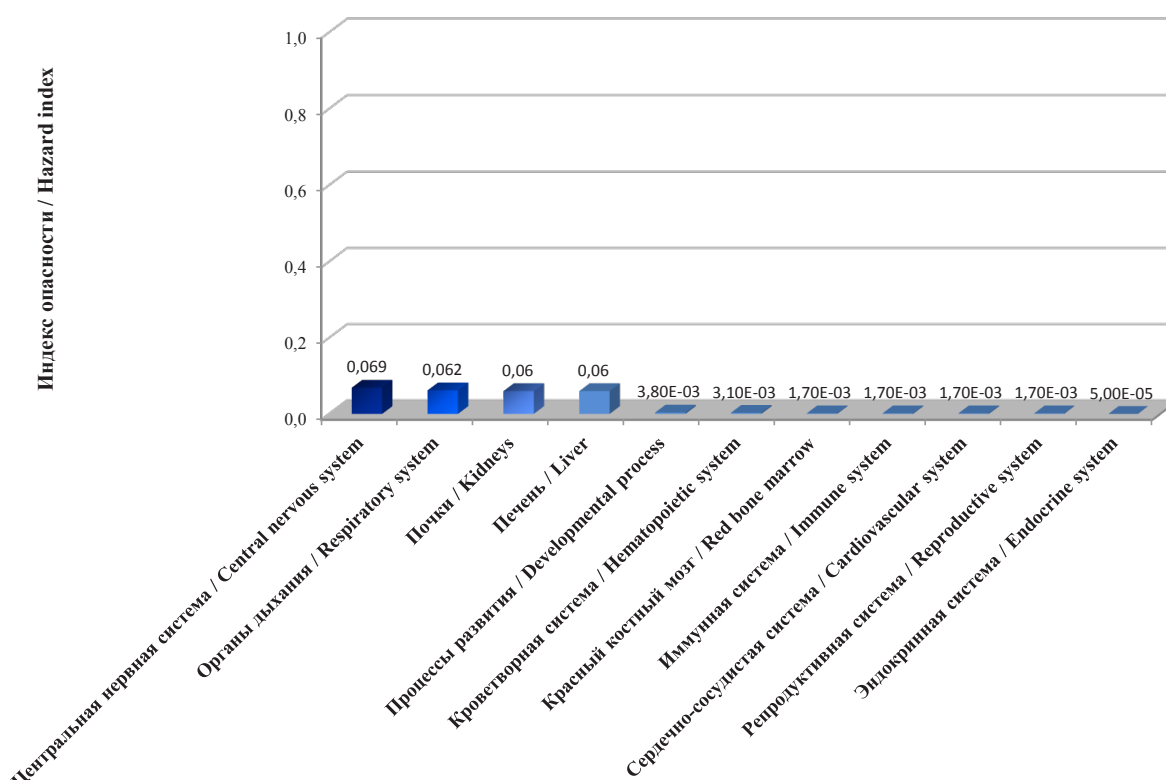


Рис. 4. Максимальные значения суммарных индексов опасностей по влиянию на критические органы и системы при одновременном поступлении приоритетных от установок низкотемпературного обезвреживания медицинских отходов

Fig. 4. Maximum values of total hazard indices for effects on critical organs and systems of the combined exposure to priority pollutants from the low-temperature medical waste treatment unit

обезвреживания показала, что более выраженное негативное воздействие на здоровье населения оказывает установка пиролизического сжигания, постоянное мониторингирование уровней выбросов и данных лабораторного контроля позволит удерживать канцерогенный риск на уровне приемлемого, а неканцерогенный риск позволит снизить до допустимых значений.

Оценка канцерогенного риска для здоровья населения, проживающего в зоне воздействия загрязненного атмосферного воздуха, от установок термического обезвреживания показала, что привносимый риск от установки пиролизического сжигания связан с поступлением в воздух таких канцерогенов, как кадмия оксид, бенз(а)пирена и диоксинов, и не превышает приемлемое значение, а привносимый риск от установки автоклавирования формируется бензолом и этилбензолом и не превышает допустимых значений.

Оценка хронического неканцерогенного риска от установки пиролизического сжигания позволила установить максимальные значения значимых коэффициентов опасности для диоксида серы, бенз(а)пирена, взвешенных веществ и диоксид азота, при этом, согласно индексам опасности, можно ожидать хроническое воздействие на органы дыхания, случаи дополнительной смертности, процессы развития, иммунную и кроветворную системы (данные уровни риска оцениваются как неприемлемые для населения). Данные компоненты должны быть включены в программу производственного контроля и по-

стоянно подвергаться мониторингу в атмосферном воздухе жилой застройки, расположенной вблизи зоны работы установки сжигания.

Оценка хронического неканцерогенного риска показала, что при воздействии установки низкотемпературного обезвреживания уровни риска от воздействия всех приоритетных загрязняющих веществ не превышают допустимых значений. Величины суммарных индексов опасности на все приоритетные органы и системы не превышают допустимых значений.

В отечественной научной литературе отсутствуют полноценные публикации, в которых представлены результаты исследований воздействия атмосферных выбросов технологий термического обезвреживания медицинских отходов на здоровье населения. Согласно зарубежным исследованиям, образующиеся при сжигании медицинских отходов токсические вещества достоверно повышают следующие воздействия на популяцию: канцерогенное, тератогенное, могут являться триггерами аутоиммунных заболеваний, влияют и на развитие и функционирование плаценты, а также эндокринную систему [33, 34]. По результатам научных исследований, длительное воздействие низких уровней диоксинов приводит к ухудшению работы иммунной системы, нарушениям со стороны нервной, эндокринной систем и репродуктивной функции, а краткосрочное воздействие высоких уровней загрязнения может приводить к повреждению кожных покровов и к изменению функции печени [33, 34]. Исходы, с которыми

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2026-34-2-81-92>

Оригинальная исследовательская статья

обнаружена значительная связь, представляют собой серьезные и потенциально негативные последствия для здоровья населения, требующие тщательного рассмотрения и планирования для снижения рисков [33, 34].

Для снижения негативного воздействия установки пиролизического сжигания на окружающую среду необходимо организовать комплекс профилактических мероприятий, который должен включать следующие мероприятия:

– архитектурно-планировочные (установление границы СЗЗ по критерию приемлемого неканцерогенного риска, высота трубы должна достигать не менее 10 метров);

– санитарно-технологические (установка дополнительных модулей очистки отходящих газов);

– санитарно-технические (бесперебойная работа установки – 24 часа, своевременное техническое обслуживание – не реже 1 раза в месяц, непрерывная подача отходов);

– организационные (уменьшение доли полимерных отходов, направляемых на сжигание, применение низкотемпературных технологий для обезвреживания полимерных медицинских отходов, организация обоснованной системы лабораторного производственного контроля и программы наблюдения за качеством атмосферного воздуха при проведении СГМ таких компонентов, как кадмия оксид, бенз(а)пирен, диоксинов, диоксид серы, взвешенные вещества и диоксид азота).

Заключение. Данное исследование демонстрирует преимущество низкотемпературного обезвреживания отходов над высокотемпературными методами в гигиеническом аспекте, так как оценка риска здоровью показала, что при воздействии установок низкотемпературного обезвреживания уровни риска от воздействия всех приоритетных загрязняющих веществ, как и величины суммарных индексов, не превышают допустимых значений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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. Т. 12. № 2. С. 518-526.
2. Li H, Li J, Zhang Z, Cao X, Zhu J, Chen W. 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;22:501-514. doi: 10.1007/s10163-019-00943-0
3. Das AK, Islam MN, Billah MM, Sarker A. COVID-19 pandemic and healthcare solid waste management strategy – A mini-review. *Sci Total Environ*. 2021;778:146220. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.146220
4. Mazzei HG, Specchia S. Latest insights on technologies for the treatment of solid medical waste: A review. *J Environ Chem Eng*. 2023;11(2):109309. doi: 10.1016/j.jece.2023.109309
5. Киек О.В., Полупанова Н.В., Черняева Н.О. и др. Обращение с медицинскими отходами в условиях современного здравоохранения – проблемы и пути решения // *Кубанский научный медицинский вестник*. 2022. Т. 29. № 3. С. 121-134. doi: 10.25207/1608-6228-2022-29-3-121-134
6. Русаков Н.В., Щербо А.П., Мироненко О.В. Обращение с медицинскими отходами: идеология, гигиена и экология // *Экология человека*. 2018. № 7. С. 4-10.
7. Cesaro A, Belgioirio V. Sustainability of medical waste management in different sized health care facilities. *Waste Biomass Valor*. 2017;8(5):1819-1827. doi: 10.1007/s12649-016-9730-y
8. Eren E, Tuzkaya UR. Occupational health and safety-oriented medical waste management: A case study of Istanbul. *Waste Manag Res*. 2019;37(9):876-884. doi: 10.1177/0734242X19857802
9. Щербо А.П., Мироненко О.В. Проблемы обращения с медицинскими отходами // *Биосфера*. 2013. Т. 5. № 4. С. 419-425.
10. Зудинова Е.А., Тимофеева Т.В., Акимкин В.Г. Мероприятия по внедрению централизованной системы обезвреживания/обезвреживания медицинских отходов в Москве // *Здоровье населения и среда обитания*. 2016. № 12 (285). С. 40-43.
11. Мироненко О.В., Щербо А.П., Суций К.К., Козырин К.И., Сопрун Л.А. Эколого-гигиенические предпосылки и инженерные подходы к управлению медицинскими отходами // *Экология человека*. 2013. № 6. С. 19-24.
12. Мироненко О.В., Сопрун Л.А., Суворова О.К., Носков С.Н., Магомедов Х.К., Федорова Е.А., Степанян А.А. Гигиеническая оценка технологий пиролизического сжигания медицинских отходов классов Б и В // *Профилактическая и клиническая медицина*. 2020. № 4(77). С. 46-56.
13. 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. Т. 102. № 8. С. 750-756. doi: 10.47470/0016-9900-2023-102-8-750-756
14. Мироненко О.В., Хурцилава О.Г., Киселев А.В., Федорова Е.А., Обухов Д.А. Сравнительная характеристика неканцерогенного риска здоровью населения при низкотемпературном и высокотемпературном обезвреживании медицинских отходов // *Профилактическая и клиническая медицина*. 2023. № 2(87). С. 13-22. doi: 10.47843/2074-9120_2023_2_13
15. Voudrias EA. Technology selection for infectious medical waste treatment using the analytic hierarchy process. *J Air Waste Manag Assoc*. 2016;66(7):663-672. doi: 10.1080/10962247.2016.1162226
16. Bucătaru C, Săvescu D, Repanovici A, Blaga L, Coman E, Cocuz ME. The implications and effects of medical waste on development of sustainable society – A brief review of the literature. *Sustainability*. 2021;13(6):3300. doi: 10.3390/su13063300
17. Tait PW, Brew J, Che A, et al. The health impacts of waste incineration: A systematic review. *Aust N Z J Public Health*. 2020;44(1):40-48. doi: 10.1111/1753-6405.12939
18. Степкин Ю.И., Гайдукова Е.П. Оценка и управление риском при обращении с отходами // *Гигиена и санитария*. 2018. № 97(8). С. 693-698.
19. Киселев А.В., Григорьева Я.В. Применение результатов расчета загрязнения атмосферного воздуха для социально-гигиенического мониторинга // *Гигиена и санитария*. 2017. Т. 96. № 4. С. 306-309.
20. Алексахина В.В. Экология города. Мусоросжигательные заводы // *Academia*. Архитектура и строительство. Российская академия архитектуры и строительных наук Москва. 2014. № 4. С. 10.

21. Han J, Liang Y, Hu J, *et al.* Modeling downdraft biomass gasification process by restricting chemical reaction equilibrium with Aspen Plus. *Energy Convers Manag.* 2017;153:641-648. doi: 10.1016/j.enconman.2017.10.030
22. Han J, Li W, Liu D, Qin L, Chen W, Xing F. Pyrolysis characteristic and mechanism of waste tyre: A thermogravimetry-mass spectrometry analysis. *J Anal Appl Pyrolysis.* 2017;129:1-5. doi: 10.1016/j.jaap.2017.12.016
23. Han J, Zhang L, Lu Y, Hu J, Cao B, Yu F. The effect of syngas composition on the Fischer Tropsch synthesis over three-dimensionally ordered macro-porous iron based catalyst. *Mol Catal.* 2017;440:175-183. doi: 10.1016/j.mcat.2017.07.025
24. Shaik SR, Mahalingam AK, Palanisamy M, Kalita PCh. Comprehensive review on medical waste incineration. *Int J Global Warm.* 2022;27(1):16. doi: 10.1504/IJGW.2022.122793
25. Giakoumakis G, Politi D, Sidiras D. Medical waste treatment technologies for energy, fuels, and materials production: A review. *Energies.* 2021;14(23):8065. doi: 10.3390/en14238065
26. Windfeld ES, Brooks MS. Medical waste management – A review. *J Environ Manage.* 2015;163:98-108. doi: 10.1016/j.jenvman.2015.08.013
27. Долгушина Н.А., Кувшинова И.А. Оценка загрязнения атмосферного воздуха промышленных городов Челябинской области и неканцерогенных рисков здоровью населения // *Экология человека.* 2019. № 6-7. С. 17-22.
28. Рахманин Ю.А., Новиков С.М., Авалиани С.Л. и др. Современные проблемы оценки риска воздействия факторов окружающей среды на здоровье населения и пути ее совершенствования // *Анализ риска здоровью.* 2015. № 2. С. 4-11.
29. Рахманин Ю.А., Онищенко Г.Г., Новиков С.М., Авалиани С.Л., Буштуева К.А. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М.: НИИЭЧ и ГОС. 2002: 408.
30. Щербо А.П., Киселев А.В. Оценка риска воздействия факторов окружающей среды на здоровье. СПб: 2005. С. 92.
31. Попова А.Ю. и др. Современные вопросы оценки и управления риском для здоровья // *Гигиена и санитария.* 2017. Т. 96. № 12. С. 1125-1129.
32. Мironenko O.B., Киселев А.В., Носков С.Н. и др. Прогнозирование заболеваемости и оценка риска здоровью при выполнении гигиенических исследований, связанных с химическими факторами воздействия // *Вестник Санкт-Петербургского университета. Медицина.* 2017. Т. 12. № 4. С. 419-428.
33. Krieg SA, Shahine LK, Lathi RB. Environmental exposure to endocrine-disrupting chemicals and miscarriage. *Fertil Steril.* 2016;106(4):941-947. doi: 10.1016/j.fertnstert.2016.06.043
34. Kenny C, Priyadarshini A. Review of current healthcare waste management methods and their effect on global health. *Healthcare (Basel).* 2021;9(3):284. doi: 10.3390/healthcare9030284
- technologies in the emerging economies. *J Mater Cycles Waste Manag.* 2020;22:501-514. doi: 10.1007/s10163-019-00943-0
3. Das AK, Islam MN, Billah MM, Sarker A. COVID-19 pandemic and healthcare solid waste management strategy – A mini-review. *Sci Total Environ.* 2021;778:146220. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.146220
4. Mazzei HG, Specchia S. Latest insights on technologies for the treatment of solid medical waste: A review. *J Environ Chem Eng.* 2023;11(2):109309. doi: 10.1016/j.jece.2023.109309
5. Kiyok OV, Polupanova NV, Chernyaeva NO, Naprimerova LV, Enina EYu. Medical waste management in today's healthcare: Issues and progress. *Kubanskiy Nauchnyy Meditsinskiy Vestnik.* 2022;29(3):121-134. (In Russ.) doi: 10.25207/1608-6228-2022-29-3-121-134
6. Rusakov NV, Shcherbo AP, Mironenko OV. Medical waste management: Ideology, hygiene and the environment. *Ekologiya Cheloveka (Human Ecology).* 2018;(7):4-10. (In Russ.) doi: 10.33396/1728-0869-2018-7-4-10
7. Cesaro A, Belgiorio V. Sustainability of medical waste management in different sized health care facilities. *Waste Biomass Valor.* 2017;8(5):1819-1827. doi: 10.1007/s12649-016-9730-y
8. Eren E, Tuzkaya UR. Occupational health and safety-oriented medical waste management: A case study of Istanbul. *Waste Manag Res.* 2019;37(9):876-884. doi: 10.1177/0734242X19857802
9. Shcherbo AP, Mironenko OV. Medical-waste management problems. *Biosfera.* 2013;5(4):419-425. (In Russ.)
10. Zudinova EA, Timofeeva TV, Akimkin VG. Measures to introduce centralized system of disinfection/decontamination of medical waste in Moscow. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya.* 2016;(12(285)):40-43. (In Russ.)
11. Shcherbo AP, Mironenko OV, Sushchy KK, Kozyrin KI, Soprun LA. Ecologo-hygienic preconditions and engineering approaches to medical waste management. *Ekologiya Cheloveka (Human Ecology).* 2013;(6):18-25. (In Russ.)
12. Mironenko OV, Soprun LA, Suvorova OK, *et al.* Hygienic assessment of pyrolytic incineration technologies for medical waste of the Russian Federation. *Profilakticheskaya i Klinicheskaya Meditsina.* 2020;(4(77)):46-56. (In Russ.)
13. Khurtsilava OG, Mironenko OV, Noskov SN, *et al.* 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.* 2023;102(8):750-756. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2023-102-8-750-756
14. Mironenko OV, Khurtsilava OG, Kiselev AV, Fedorova EA, Obukhov DA. Comparative characteristics of the non-carcinogenic risk to population health during low-temperature and high-temperature disposal of medical waste. *Profilakticheskaya i Klinicheskaya Meditsina.* 2023;(2(87)):13-22. (In Russ.) doi: 10.47843/2074-9120_2023_2_13
15. Voudrias EA. Technology selection for infectious medical waste treatment using the analytic hierarchy process. *J Air Waste Manag Assoc.* 2016;66(7):663-672. doi: 10.1080/10962247.2016.1162226
16. Bucătaru C, Săvescu D, Repanovici A, Blaga L, Coman E, Cocuz ME. The implications and effects of medical waste on development of sustainable society—A brief review of the literature. *Sustainability.* 2021;13(6):3300. doi: 10.3390/su13063300
17. Tait PW, Brew J, Che A, *et al.* The health impacts of waste incineration: A systematic review. *Aust N Z J*

REFERENCES

1. Mozzhukhina NA, Nikonov VA, Yalda KD, Eremin SG. [Environmental and hygienic aspects of medical waste management.] *Zdorov'e – Osnova Chelovecheskogo Potentsiala: Problemy i Puti Ikh Resheniya.* 2017;12(2):518-526. (In Russ.)
2. Li H, Li J, Zhang Z, Cao X, Zhu J, Chen W. Establishing an interval-valued fuzzy decision-making method for sustainable selection of healthcare waste treatment

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2026-34-2-81-92>

Оригинальная исследовательская статья

- Public Health*. 2020;44(1):40-48. doi: 10.1111/1753-6405.12939
18. Stepinkin Yul, Gaydukova EP. Estimation and risk management in the waste treatment. *Gigiena i Sanitariya*. 2018;97(8):693-698. (In Russ.) doi: 10.18821/0016-9900-2018-97-8-693-698
 19. Kiselev AV, Grigoreva YaV. The use of results of the calculation of atmospheric pollution for the social hygienic monitoring. *Gigiena i Sanitariya*. 2017;96(4):306-309. (In Russ.) doi: 10.18821/0016-9900-2017-96-4-306-309
 20. Aleksashina VV. The ecology of the city. Waste incineration plants. *Academia. Arkhitektura i Stroitel'stvo*. 2014;(4):10. (In Russ.)
 21. Han J, Liang Y, Hu J, et al. Modeling downdraft biomass gasification process by restricting chemical reaction equilibrium with Aspen Plus. *Energy Convers Manag*. 2017;153:641-648. doi: 10.1016/j.enconman.2017.10.030
 22. Han J, Li W, Liu D, Qin L, Chen W, Xing F. Pyrolysis characteristic and mechanism of waste tyre: A thermogravimetry-mass spectrometry analysis. *J Anal Appl Pyrolysis*. 2017;129:1-5. doi: 10.1016/j.jaap.2017.12.016
 23. Han J, Zhang L, Lu Y, Hu J, Cao B, Yu F. The effect of syngas composition on the Fischer Tropsch synthesis over three-dimensionally ordered macro-porous iron based catalyst. *Mol Catal*. 2017;440:175-183. doi: 10.1016/j.mcat.2017.07.025
 24. Shaik SR, Mahalingam AK, Palanisamy M, Kalita PCh. Comprehensive review on medical waste incineration. *Int J Global Warm*. 2022;27(1):16. doi: 10.1504/IJGW.2022.122793
 25. Giakoumakis G, Politi D, Sidiras D. Medical waste treatment technologies for energy, fuels, and materials production: A review. *Energies*. 2021;14(23):8065. doi: 10.3390/en14238065
 26. Windfeld ES, Brooks MS. Medical waste management – A review. *J Environ Manage*. 2015;163:98-108. doi: 10.1016/j.jenvman.2015.08.013
 27. Dolgushina NA, Kuvshinova IA. Air pollution and non-carcinogenic risk assessment in industrial cities of Chelyabinsk region. *Ekologiya Cheloveka (Human Ecology)*. 2019;(6):17-22. (In Russ.) doi: 10.33396/1728-0869-2019-6-17-22
 28. Rakhmanin YA, Novikov SM, Avaliani SL, Sinitsyna OO, Shashina TA. Actual problems of environmental factors risk assessment on human health and ways to improve it. *Health Risk Analysis*. 2015;(2):4-9.
 29. Rakhmanin YuA, Onishchenko GG, Novikov SM, Avaliani SL, Bushtueva KA. [Fundamentals of Assessing Health Risks from Exposure to Chemical Pollutants.] Moscow: NII ECH i GOS; 2002. (In Russ.)
 30. Shcherbo AP, Kiselev AV. [Health Risk Assessment of Environmental Factors.] St. Petersburg; 2005. (In Russ.)
 31. Popova AY, Gurchich VB, Kuzmin SV, Mishina AL, Yarushin SV. Modern issues of the health risk assessment and management. *Gigiena i Sanitariya*. 2017;96(12):1125-1129. (In Russ.) doi: 10.18821/0016-9900-2017-96-12-1125-1129
 32. Mironenko OV, Kiselev AV, Noskov SN, et al. Prognosis of morbidity and health risk assessment during hygienic research associated with of chemical impact. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo Universiteta. Meditsina*. 2017;12(4):419-428. (In Russ.) doi: 10.21638/11701/spbu11.2017.410
 33. Krieg SA, Shahine LK, Lathi RB. Environmental exposure to endocrine-disrupting chemicals and miscarriage. *Fertil Steril*. 2016;106(4):941-947. doi: 10.1016/j.fertnstert.2016.06.043
 34. Kenny C, Priyadarshini A. Review of current healthcare waste management methods and their effect on global health. *Healthcare (Basel)*. 2021;9(3):284. doi: 10.3390/healthcare9030284

Сведения об авторах:

Мироненко Ольга Васильевна – д.м.н., профессор, заведующий кафедрой коммунальной гигиены ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова» Минздрава России; профессор кафедры организации здравоохранения и медицинского права ФГБОУ ВО СПбГУ; e-mail: miroolga@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1484-8251>.

Носков Сергей Николаевич – к.м.н., технический директор органа инспекции, старший научный сотрудник ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора; доцент кафедры коммунальной гигиены ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова» Минздрава России; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7971-4062>.

Магомедов Хамзат Курбанович – к.м.н., доцент кафедры коммунальной гигиены ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова» Минздрава России; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1521-551X>.

✉ **Федорова** Екатерина Андреевна – ассистент кафедры коммунальной гигиены ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова» Минздрава России; e-mail: katerina.fedo@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9233-7203>.

Обухов Денис Алексеевич – аспирант кафедры коммунальной гигиены ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова» Минздрава России; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1444-9218>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: Мироненко О.В., Магомедов Х.К.; обзор литературы: Федорова Е.А.; сбор данных: Федорова Е.А.; анализ и интерпретация результатов: Обухов Д.А.; редактирование текста: Носков С.Н.; подготовка проекта рукописи: Магомедов Х.К. Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Статья получена: 01.04.25 / Принята к публикации: 10.02.26 / Опубликовано: 27.02.26

Author information:

Olga V. **Mironenko**, Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Communal Hygiene, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov; Professor, Department of Healthcare Organization and Medical Law, St. Petersburg State University; e-mail: miroolga@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1484-8251>.

Sergey N. **Noskov**, Cand. Sci. (Med.), Technical Director of the Inspection Body, Senior Researcher, North-West Public Health Research Center; Associate Professor, Department of Communal Hygiene, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7971-4062>.

Khamzat K. **Magomedov**, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Department of Communal Hygiene, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1521-551X>.

✉ Ekaterina A. **Fedorova**, Assistant, Department of Communal Hygiene, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov; e-mail: katerina.fedo@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9233-7203>.

Denis A. **Obukhov**, Postgraduate Student, Department of Communal Hygiene, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1444-9218>.

Author contributions: study conception and design: *Mironenko O.V., Magomedov Kh.K.*; data collection: *Fedorova E.A.*; bibliography compilation and referencing: *Fedorova E.A.*; analysis and interpretation of results: *Obukhov D.A.*; draft manuscript preparation: *Magomedov Kh.K., Noskov S.N.* All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: Not applicable.

Funding: This research received no external funding.

Conflict of interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Received: April 1, 2025 / Accepted: February 10, 2026 / Published: February 27, 2026