

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-6-991

УДК 614.7



Научная статья

ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АВТОНОМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА КАЧЕСТВО АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И ФОРМИРОВАНИЕ РИСКОВ ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ

*Н.В. Зайцева, С.В. Клейн, А.М. Андришунас,
С.Ю. Балашов, В.М. Чигвинцев*

Обоснование. Актуальность исследования определена функционированием значимого количества (более 74 тыс. ед.) автономных источников теплоснабжения (АИТ) в РФ, особенно в восточных регионах страны, которые используют в качестве топлива его твердые виды (уголь). АИТ наряду с другими объектами теплоэнергетики вносят значимый вклад в загрязнение атмосферного воздуха приземных слоев атмосферы, и, как следствие, оказывают влияние на состояние здоровья населения.

Цель: выполнить гигиеническую оценку негативного влияния автономных источников теплоснабжения (АИТ) на качество атмосферного воздуха, формирование рисков здоровью и дополнительной ассоциированной заболеваемости населения на примере территории-участнике федерального проекта «Чистый воздух».

Материалы и методы. Выполнены расчеты рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе в зонах жилой застройки в результате деятельности АИТ, гигиеническая оценка расчетных и инструментальных данных по качеству атмосферного воздуха, оценка риска здоровью населения, расчет количества ассоциированных случаев заболеваний в соответствии со стандартными утвержденными методами и алгоритмами на текущее положение.

Результаты. На исследуемой территории расположено более 170 АИТ, которые работают на твердом топливе (угле). В зонах влияния АИТ из 7 веществ, выбрасываемых трубами печей частного жилого сектора, регистрируются превышения гигиенических нормативов: по результатам расчетов рассеивания по 4 веществам до 5,1 ПДК_{мр}; по данным инструментальных

исследований – по 4 веществам до 4,8 ПДК_{мр}, 38,0 ПДК_{сс}, 4,7 ПДК_{сг}; по верифицированным данным – по 3 веществам до 29,9 ПДК_{мр}, до 3,5 ПДК_{сс}, до 7,0 ПДК_{сг}; рассчитанные канцерогенные, острые и хронические риски в зонах непосредственного влияния АИТ, классифицируются как «настораживающие» и «высокие» – до 13,4 НQ_{ас}, 7,0 НQ_{сг}, CRT – до $1,19 \cdot 10^{-7}$. В результате деятельности АИТ формируется более 11 тыс. дополнительных случаев заболеваний органов дыхания (6 379,9 сл. на 100 тыс. населения), из них 98% случаев – у детского населения.

Заключение. Деятельность АИТ формирует высокие уровни экспозиции, рисков для здоровья населения и дополнительные уровни ассоциированной с качеством атмосферного воздуха заболеваемости. Данная ситуация требует повышенного внимания со стороны администрации территории, контролирующих органов, разработку и реализацию комплексных воздухоохраных мероприятий.

Ключевые слова: качество атмосферного воздуха; автономные источники теплоснабжения; твердое топливо; уголь; загрязняющие вещества; риск здоровью; население; дополнительная ассоциированная заболеваемость

Для цитирования. Зайцева Н.В., Клейн С.В., Андришунас А.М., Балашов С.Ю., Чигвинцев В.М. Гигиеническая оценка влияния автономных источников теплоснабжения на качество атмосферного воздуха и формирование рисков здоровью населения // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №6. С. 308-327. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-6-991

Original article

HYGIENIC ASSESSMENT OF THE IMPACT OF OFF-GRID HEAT SOURCES ON AMBIENT AIR QUALITY AND THE FORMATION OF PUBLIC HEALTH RISKS

*N.V. Zaitseva, S.V. Kleyn, A.M. Andrishunas,
S.Y. Balashov, V.M. Chigvintsev*

Background. The study is relevant due to a significant number (more than 74 thousand) of autonomous heat sources (AHS) in the Russian Federation, especially in its eastern regions. Such sources use solid fuels (coal). AHS, along with other heat and power objects, make a considerable contribution to ambient air pollution in the ground layers and consequently produce harmful effects on public health.

The aim of this study was to perform hygienic assessment of negative effects produced by autonomous heat sources (AHS) on ambient air quality, health risks and additional associated incidence on the example of a territory included into the Clean Air Federal project.

Materials and methods. We calculated dispersion of pollutants in ambient air in residential areas due to AHS; performed hygienic assessment of calculated and instrumental data on ambient air quality; assessed public health risks; identified the number of additional associated diseases in accordance with the conventional established methods and algorithms valid at the present moment.

Results. More than 170 AHS are located on the analyzed territory; they all use solid fuel (coal). Hygienic standards are violated in areas influenced by AHS for four out of seven chemicals emitted by chimneys of private houses. Pollutant levels reach 5.1 single maximum MPC for four pollutants according to dispersion calculation; 4.8 single maximum MPC, 38 average daily MPC and 4.7 average annual MPC for four pollutants according to instrumental data; 29.9 single maximum MPC, 3.5 average daily MPC and 7.0 average annual MPC for three pollutants according to verified data. Identified carcinogenic, acute, and chronic health risks are ranked as 'alerting' and 'high' in areas under direct influence of AHS; these risks reach 13.4 HQ (acute), 7.0 HQ (chronic), $CRT\ 1.19 \cdot 10^{-7}$ (carcinogenic). AHS create more than 11 thousand additional respiratory diseases (6,379.9 cases per 100 thousand people); of them, 98% cases are registered in children.

Conclusion. AHS create high levels of exposure to harmful pollutants and elevated health risks as well as additional incidence associated with ambient air quality. This situation requires immediate attention of the local authorities, control and surveillance organs; it is necessary to develop and implement complex air protection activities as soon as possible.

Keywords: ambient air quality; autonomous heat sources; solid fuel; coal; pollutants; health risk; population; additional associated incidence

For citation. Zaitseva N.V., Kleyn S.V., Andrishunas A.M., Balashov S.Y., Chigvintsev V.M. Hygienic Assessment of the Impact of Off-Grid Heat Sources on Ambient Air Quality and the Formation of Public Health Risks. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 6, pp. 308-327. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-6-991

Введение

В последние десятилетия интерес к автономной системе теплоснабжения Российской Федерации растет. В 2018 году в России было зарегистрировано 74,8 тыс. автономных источников теплоснабжения (далее АИТ) [12], которые в дополнение к централизованным источникам теплоснаб-

жения, ТЭЦ и крупным котельным вносят свой вклад в загрязнение атмосферного воздуха в приземных слоях. В городах азиатской части РФ с суровыми климатическими условиями, арктическим и субарктическим климатом, непрерывная подача тепла требуется более 70% дней в году. На данных территориях АИТ из-за их расположения непосредственно в жилой застройке и малой высоты дымовых труб (до 6-8 метров) являются значимыми источниками загрязнения атмосферного воздуха и формирования риска здоровью населения [1,13].

Степень воздействия АИТ на качество атмосферного воздуха и здоровье населения в значительной степени зависит от используемых видов топлива. В восточных регионах Российской Федерации автономные источники энергии в качестве основного топлива используют уголь, древесину и др., а также альтернативные виды топлива (например, твердые бытовые отходы) [3,13].

Объекты теплоэнергетики, в том числе АИТ, работающие преимущественно на угле, выбрасывают в атмосферу мелкие несгоревшие частицы (зола, сажа, пыль, взвешенные частицы PM_{2,5} и PM₁₀, соединения металлов) и газообразные вещества (оксиды углерода, углеводороды, соединения серы, оксиды азота и пр.) [4,11,19,24]. В зависимости от марки и месторождения используемого угля компонентный состав золы, выбрасываемой объектами теплоэнергетики, в том числе АИТ, может различаться по процентному содержанию веществ. Например, содержание тяжелых металлов: кадмия, кобальта, меди, никеля, свинца и цинка в «летучей» части золы южных месторождений угля в 2,5 раза выше, чем при сжигании углей сибирских регионов [2,7].

Тяжелые металлы, такие как свинец, ртуть, хром, цинк, медь, марганец, кобальт, сурьма, литий, хлор, германий и др., поступающие в атмосферу, могут оказывать выраженное негативное влияние на здоровье человека: в частности, влияние на органы дыхания, центральную нервную систему, печень, почки и пр. Твердые частицы микроразмерного диапазона (до 2,5-10 мкм) также являются опасными для здоровья человека [10,20,25].

Кроме того, что АИТы вносят значимый вклад в загрязнение окружающей среды, в частности атмосферного воздуха, актуальной для территорий с печным отоплением является неполная оценка состава и структуры выбросов от АИТ. Отсутствие или неполнота информации о параметрах выбросов АИТ в атмосферный воздух не позволяет описывать и оценивать процессы рассеивания вредных примесей в атмосфере, и, как следствие, разрабатывать и реализовывать адекватные воздухоохраные мероприятия в отношении источников, расположенных в непосредственной близости к жилым массивам.

Цель исследования – выполнить гигиеническую оценку негативного влияния автономных источников теплоснабжения на качество атмосферного воздуха, формирование рисков здоровью и дополнительной ассоциированной заболеваемости населения.

Материалы и методы исследования

В качестве пилотной территории исследования был выбран город – участник федерального проекта «Чистый воздух», являющийся крупнейшим энергетическим центром региона с крупными объектами теплоэнергетики в непосредственной близости к жилой застройке и значимым количеством АИТ.

Выбросы от АИТ рассчитаны в соответствии с «Методическими указаниями по расчету выбросов загрязняющих веществ при сжигании топлива в котлах производительностью до 30 т/час»¹ (переданы Росприроднадзором в виде сводной базы данных источников выбросов), которые предусматривают расчет выбросов от печей отопления только по 7 веществам.

Для установления пространственных уровней загрязнения в результате деятельности АИТ проведены расчеты рассеивания приземных концентраций в атмосферном воздухе жилой застройки с использованием программного комплекса УПРЗА «Эколог-Город» 4.60.1, реализующей МР-2017 «Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе, утвержденной приказом Минприроды России от 06.06.2017 г. № 273. Для расчетов среднегодовых концентраций загрязняющих веществ в атмосфере использовали модуль «Средние» к программе УПРЗА «Эколог-Город» 4.60.1. Метеорологические характеристики для территории исследования получены от ГГО им. Воейкова в виде метеофайла по специальному запросу. На основе расчетов в каждой расчетной точке жилой застройки (более 13 тыс. ед.) были определены максимальные разовые, среднесуточные и среднегодовые концентрации загрязняющих веществ, формируемые деятельностью АИТ.

Гигиеническая оценка приземных расчетных концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе осуществлялась на соответствие требованиям СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требова-

¹ МУ «Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании топлива в котлах производительностью менее 30 тонн пара в час или менее 20 Гкал в час», М., 1985 [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200031340> (дата обращения: 06.04.2023).

ния к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

Данные натуральных (инструментальных) измерений о содержании загрязняющих веществ в атмосферном воздухе проанализированы за 2022 год с ближайшего к частной жилой застройке поста наблюдения. Данные инструментальных измерений использовали с целью пространственной верификации расчетных данных в соответствии с МР 2.1.6.0157-19².

Оценка риска здоровью проводилась в точках жилой застройки, путем последовательного выполнения всех необходимых этапов в соответствии с «Руководством по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» (Р 2.1.10.1920-04)³. Классификация риска здоровью осуществлялась в соответствии с МР 2.1.10.0156-19⁴.

Расчет дополнительных ассоциированных случаев заболеваний проводился в соответствии с методическими подходами МР 5.1.0095-14⁵ с использованием моделей в системе «качество атмосферного воздуха, мг/м³ –

² МР 2.1.6.0157-19. Формирование программ наблюдения за качеством атмосферного воздуха и количественная оценка экспозиции населения для задач социально-гигиенического мониторинга: Методические рекомендации / утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 02.12.2019 [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/565246542> (дата обращения: 03.04.2023).

³ Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / утв. и введ. в действие Первым заместителем Министра здравоохранения Российской Федерации, Главным государственным санитарным врачом РФ Г.Г. Онищенко 5 марта 2004 г. [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200037399> (дата обращения: 06.04.2023).

⁴ МР 2.1.10.0156-19. Оценка качества атмосферного воздуха и анализ риска здоровью населения в целях принятия обоснованных управленческих решений в сфере обеспечения качества атмосферного воздуха и санитарно-эпидемиологического благополучия населения (утв. Роспотребнадзором от 02.12.2019) [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_415503/ (дата обращения: 06.04.2023).

⁵ МР 5.1.0095-14. Расчет фактических и предотвращенных в результате контрольно-надзорной деятельности экономических потерь от смертности, заболеваемости и инвалидизации населения, ассоциированных с негативным воздействием факторов среды обитания: методические рекомендации / утв. руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом РФ А.Ю. Поповой 23 октября 2014 года [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200129398> (дата обращения: 06.04.2023).

заболеваемость, %» с использованием моделей [14]. Численность населения каждой точки жилой застройки определялась в соответствии с реестром застрахованного населения по данным ФОМС. Уровень заболеваемости населения определялся по данным обращаемости населения за медицинской помощью (ФОМС).

Результаты исследования

По данным актуальной сводной базы данных источников загрязнения атмосферного воздуха (2020 г.) на исследуемой территории установлено, что общее количество источников выбросов от объектов теплоэнергетики, расположенных на территории города, составляет 1,2 тыс. единиц, из них 171 источник – жилые кварталы частного сектора – относится к АИТ, в которых насчитывается порядка 13,6 тыс. труб печей частного жилого сектора, в том числе, работающие на угле – 6,6 тыс., на дровах – 7,0 тыс. В целом градостроительная ситуация исследуемой территории сложилась таким образом, что АИТ рассредоточены по всей исследуемой территории в частной малоэтажной жилой застройке (рис. 1).

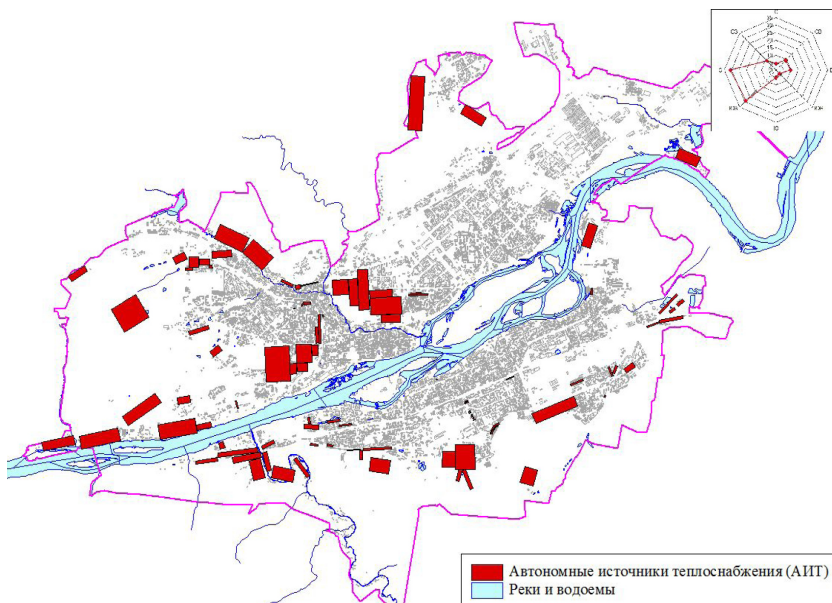


Рис. 1. Карта-схема – Пространственное распределение АИТ на исследуемой территории

При сжигании твёрдого органического топлива (уголь, дрова) в печах частных АИТ, расположенных в частном секторе, согласно расчетным данным выбрасывается 7 веществ: азота диоксид, азот (II) оксид, сера диоксид, углерода оксид, бенз/а/пирен, взвешенные вещества, пыль неорганическая: 70-20% SiO_2 с суммарным выбросом 5,3 тыс. тонн.

По результатам расчетов рассеивания загрязняющих веществ, выбрасываемых только автономными источниками теплоснабжения, установлены превышения гигиенических нормативов в отношении максимальных разовых концентраций по четырем веществам: азота диоксиду (до 1,4 ПДК_{мр}), углерода оксиду (до 3,8 ПДК_{мр}), взвешенным веществам (до 3,2 ПДК_{мр}), пыли неорганической: 70-20% SiO_2 (до 5,1 ПДК_{мр}). Картограмма полей разовых расчетных концентраций на примере пыли неорганической: 70-20% SiO_2 , для которой установлены максимальные превышения гигиенических нормативов в точках проживания населения, представлены на рисунке 2. Превышений приземных среднесуточных и среднегодовых концентраций загрязняющих веществ в жилых массивах не установлено.



Рис. 2. Изолинии полей концентраций пыли неорганической: 70-20% SiO_2 , доли ПДК_{мр}

На ближайшем посту мониторинга, расположенном непосредственно на территории АИТ, осуществляется мониторинг 14 химических примесей, из них 7 веществ выбрасывается АИТ: азота диоксид, азот (II) оксид, сера диоксид, углерода оксид, бенз/а/пирен, взвешенные вещества, пыль неорганическая: 70-20% SiO₂. В 2022 г. по данным веществам зарегистрированы превышения гигиенических нормативов по максимально разовым, среднесуточным и среднегодовым концентрациям четырех веществ, выбрасываемых только АИТ: азот (II) оксид (до 4,53 ПДК_{мр}; до 12,54 ПДК_{сс}; до 4,36 ПДК_{сг}), азота диоксид (до 4,84 ПДК_{мр}; до 7,37 ПДК_{сс}; до 4,67 ПДК_{сг}), бенз(а)пирен (до 38,0 ПДК_{сс}; до 2,54 ПДК_{сг}), взвешенные вещества (до 1,65 ПДК_{мр}; до 4,22 ПДК_{сс}; до 1,36 ПДК_{сг}).

По результатам оценки расчетных данных, верифицированных данными инструментальных измерений, на территории жилой застройки города, где сосредоточены АИТ, прогнозируются превышения максимальных разовых концентраций (более 1 ПДК_{мр}) по трем веществам, выбрасываемым АИТ: углерода оксид (до 29,86 ПДК_{мр}), взвешенные вещества (до 8,04 ПДК_{мр}), пыль неорганическая: 70-20% SiO₂ (до 5,1 ПДК_{мр}). Среднесуточные и среднегодовые концентрации превышались по: азота диоксиду (до 1,62 ПДК_{сг}), углерода оксиду (до 1,25 ПДК_{сс}; до 1,25 ПДК_{сг}), взвешенным веществам (до 3,50 ПДК_{сс}; до 7,0 ПДК_{сг}).

По результатам оценки риска здоровью населения в локальных зонах непосредственного влияния АИТ (по верифицированным данным) установлено, что при остром ингаляционном неканцерогенном воздействии формируются повышенные уровни коэффициентов опасности, классифицируемые как «высокие» – до 6,49 HQ_{ас} (углерода оксид) и до 13,41 HQ_{ас} (взвешенные вещества). Установленные уровни острой экспозиции формируют повышенные уровни индексов опасности (более 3,0 HI) в отношении возникновения заболеваний органов дыхания, системы кровообращения, нарушений развития и системного действия на организм (до 6,49 – 14,16 HI_{ас}).

Хроническое ингаляционное неканцерогенное воздействие исследуемых химических веществ в локальных зонах непосредственного влияния АИТ формирует «настораживающие» и «высокие» (1,1 – 3,0 HQ и более 3,0 HQ соответственно) уровни риска здоровью, выраженные коэффициентами опасности по 3 веществам: азота диоксид (до 1,62 HQ_{сг}), углерода оксид (до 1,25 HQ_{сг}), взвешенные вещества (до 7,00 HQ_{сг}). Установленные уровни хронической экспозиции формируют повышенные уровни индексов опасности (более 3,0 HI) в отношении возникновения заболеваний органов дыхания (до 7,41 HI_{сг}).

Суммарный уровень канцерогенного риска (CR_T) на территории жилой застройки города, где сосредоточены АИТ, формируется бенз(а)пиреном на уровне до $1,19 \cdot 10^{-7}$ и не превышает допустимый уровень.

По результатам расчета показателей нарушений здоровья населения в виде дополнительных ассоциированных с качеством атмосферного воздуха случаев заболеваний на исследуемой территории при хроническом длительном воздействии выбросов от автономных источников энергии (АИТ) установлено, что уровни экспозиции по верифицированным данным формируют более 11 тыс. дополнительных случаев заболеваний в год (6 379,9 сл. на 100 тыс. населения), что составляет 0,4% от всей зафиксированной на данной территории заболеваемости населения по обращаемости за 2022 год. Из общего числа дополнительных случаев заболеваний 98% случаев составляют заболевания детского населения (6 297,6 сл. на 100 тыс. детского населения), 2% – взрослого населения (82,4 сл. на 100 тыс. взрослого населения).

Деятельность автономных источников теплоснабжения по модельным данным формирует преимущественно дополнительные случаи заболеваний органов дыхания у всего населения (100% в структуре). Дополнительная заболеваемость всего населения болезнями органов дыхания вероятно ассоциирована с загрязнением атмосферного воздуха пылью неорганической: 70-20% SiO_2 , углерода оксидом, серы диоксидом, азота диоксидом, азота (II) оксидом (вклад 1,9 – 53,1 %).

Полученные результаты исследования свидетельствуют о необходимости пристального внимания к АИТ в части уточнения методик расчета выбросов от АИТ с ориентацией на учет максимально полного перечня компонентов выбросов в атмосферный воздух, проведение систематического мониторинга приоритетных факторов риска, состояния здоровья населения в зонах влияния АИТ, реализацию воздухоохраных мероприятий (переключение АИТ на централизованное теплоснабжение, переселение граждан из аварийного жилого фонда с печным отоплением и пр.).

Обсуждение

Автономные источники теплоснабжения, использующие твердые виды топлива (уголь, древесину), являются значимым источником загрязнения атмосферного воздуха. При этом частные жилые дома чаще всего оснащены малыми тепловыми печами, которые не предусматривают в своем устройстве и оснащении никакой системы очистки выбросов из труб [9,10].

В исследованиях [5,6,8,9,25] показано, что в зависимости от используемого угля в частных жилых домах выбросы могут значительно отличаться по составу загрязняющих веществ. Например, сжигание образцов Бородинского угля приводит к 20-кратному увеличению мелкодисперсной пыли в выбросах по сравнению с Балахтинским углем, при этом толуола и бензола в выбросах также больше, почти в 100 раз. Кроме этого, в выбросах присутствует ртуть, мышьяк, никель, марганец, ацетон, свинец, хром, кобальт, формальдегид, селен, фенол, хлор и др. соединения, часто не входящие в программы наблюдений на государственных постах мониторинга качества атмосферного воздуха.

Результаты данных исследований свидетельствуют, что спектр компонентного состава выбросов в атмосферный воздух от АИТ значительно шире, и уровни экспозиции и риска здоровью могут являться недооцененными.

Для определения величины и объёмов выбросов от печей частных домов, работающих на угле, принято использовать расчётные методы, но реальные измерения концентраций показывают, что выбросы обладают широкой компонентной вариабельностью, зависящей как от состава топлива, так и от условий горения [9].

В ряде зарубежных научных публикаций [14–18, 21–23] представлены результаты исследований о негативном влиянии повышенного содержания твердых пылевых частиц в воздухе, в частности мелких и ультрамелких частиц диаметром от 0,1 до 10 мкм, на организм человека на клеточном и субклеточном уровне. Показано, что воздействие твердых частиц менее 10 мкм на клетки организма проявляется в виде ослабления митохондриальных функций клеток и снижения их способности регулировать гомеостаз, стимулирования экспрессии генов, метастазирования, пролиферации клеток, увеличения пула гемопоэтических стволовых клеток и др. Кроме этого, установлен ряд заболеваний и патологических состояний, которые могут возникнуть при длительном хроническом воздействии пыли на фоне сопутствующего многокомпонентного загрязнения атмосферного воздуха на организм человека: заболевания сердечно-сосудистой и нервной систем, органов дыхания, пищеварения, кожи, развитие злокачественных новообразований, воспалительных, дегенеративных процессов различной локализации, ускорение биологического старения.

Вариация элементного состава углей и выбросов показывает, что для комплексной оценки негативного воздействия АИТ на атмосферный воздух и здоровье населения требуется проведение систематического мони-

торинга в атмосферном воздухе приоритетных факторов, а также риска и здоровья населения в зонах влияния объектов теплоэнергетики, разработка и реализация комплексных мероприятий медико-профилактической направленности. Исследование достаточного количества проб атмосферного воздуха в зонах влияния выбросов АИТ, работающих на угле или дровах, летучей фракции золы, газовой фазы выбросов и отходов, образующихся при сгорании, расширяет и уточняет результаты, полученные в данном и других релевантных исследованиях в отношении приоритетных факторов риска и формируемых ответов в состоянии здоровья населения.

Выводы

1. По результатам исследования установлено, что на исследуемой территории располагаются более 170 АИТ (жилых кварталов частного сектора), в которых насчитывается порядка 13,6 тыс. труб печного отопления, работающих на угле и древесине. В результате деятельности АИТ в соответствии с МУ «Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании топлива в котлах производительностью менее 30 тонн пара в час или менее 20 Гкал в час» (1985г.) выбрасывается 7 загрязняющих веществ с суммарным выбросом 5,3 тыс. тонн.

2. В зонах влияния АИТ регистрируются превышения гигиенических нормативов по веществам, источниками которых в том числе являются АИТ: по результатам расчетов рассеивания по 4 веществам до 5,1 ПДК_{мр}; по данным инструментальных исследований – по 4 веществам до 4,8 ПДК_{мр}, 38,0 ПДК_{сс}, 4,7 ПДК_{сг}; по верифицированным данным – по 3 веществам до 29,9 ПДК_{мр}, до 3,5 ПДК_{сс}, до 7,0 ПДК_{сг}.

3. Установленные уровни острого неканцерогенного риска, формируемые только деятельностью АИТ, выраженные коэффициентами опасности, классифицируются как «высокие» – до 13,4 НQ_{ас}, по хроническому неканцерогенному риску – «настораживающие» и «высокие» до 7,0 НQ_{сг}. Установленные уровни риска формировали повышенные индексы опасности в отношении возникновения заболеваний органов дыхания, системы кровообращения, нарушений развития и системного действия на организм. Приоритетными факторами являлись: азота диоксид, углерода оксид, взвешенные вещества. Суммарный уровень канцерогенного риска (CR_г) формировался преимущественно бенз(а)пиреном и не превышал допустимый уровень.

4. В результате деятельности только АИТ на исследуемой территории формируется в год более 11 тыс. дополнительных случаев ассоциированных

с качеством атмосферного воздуха заболеваний органов дыхания (6 379,9 сл. на 100 тыс. населения), из них 98% случаев составляют заболевания детско-го населения. Дополнительная заболеваемость всего населения болезнями органов дыхания вероятно ассоциирована с загрязнением атмосферного воздуха пылью неорганической: 70-20% SiO₂, углерода оксидом, серы диоксидом, азота диоксидом, азота (II) оксидом от 53,1 до 1,9%.

5. Необходимым является уточнение методики расчета выбросов от АИТ с ориентацией на учет максимально полного перечня компонентов выбросов в атмосферный воздух, проведение систематического мониторинга приоритетных факторов риска, состояния здоровья населения в зонах влияния АИТ, реализация воздухоохраных мероприятий, реализацию воздухоохраных мероприятий (переключение АИТ на централизованное теплоснабжение, переселение граждан из аварийного жилого фонда с печным отоплением и пр.).

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Список литературы

1. Андришунас А.М., Клейн С.В., Горяев Д.В., Балашов С.Ю., Загороднов С.Ю. Гигиеническая оценка эффективности воздухоохраных мероприятий на объектах теплоэнергетики // Гигиена и санитария. 2022. Т. 101, № 11. С. 1290-1298. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-11-1290-1298>
2. Андришунас А.М., Глухих М.В., Чигвинцев В.М. Причины и факторы, влияющие на качество атмосферного воздуха в Российской Федерации // Фундаментальные и прикладные аспекты анализа риска здоровью населения. Материалы всероссийской научно-практической интернет-конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора с международным участием. Пермь, 2020. С. 25-30.
3. Барышева О.Б., Хабибуллин Ю.Х., Хасанова Г.Р. Эффективность применения разработанного твердотопливного котла длительного горения // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 1(35). С. 123-127.
4. Волкодаева М.В., Карелин А.О., Ломтев А.Ю., Канчан Я.С., Левкин А.В., Тимин С.Д. Учёт выбросов загрязняющих веществ от автономных источников теплоснабжения индивидуальных жилых домов при проведении

- сводных расчётов загрязнения атмосферного воздуха для населённых пунктов // Гигиена и санитария. 2023. Т. 102, № 2. С. 141-147. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-2-141-147>
5. Заворуев В.В., Манкевич И.В., Заворуева Е.Н. Влияние выбросов автономных источников теплоснабжения на загрязнение бенз(а)пиреном атмосферы города Красноярска // Естественные и технические науки. 2023. № 3 (178). С. 70-74.
 6. Зайцева Н.В., Кирьянов Д.А., Клейн С.В., Цинкер М.Ю., Андришунас А.М. Распределение твёрдых частиц микроразмерного диапазона в дыхательных путях человека: натурный эксперимент // Гигиена и санитария. 2023. Т. 102, № 5. С. 412–420. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-5-412-420>
 7. Крылов Д.А «Токсичность» угольной тепло-электрогенерации // Горная Промышленность. 2016. № 5 (129). С. 66-71.
 8. Кирьянов Д.А., Камалтдинов М.Р., Цинкер М.Ю., Бабина С.В., Клейн С.В., Андришунас А.М. Параметризация зависимостей между факторами риска и здоровьем населения при хроническом воздействии комплексного загрязнения атмосферного воздуха // Анализ риска здоровью. 2022. № 4. С. 33–44. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2022.4.03>
 9. Кузнецов С.Г., Назаров Г.А. Особенности застройки территорий жилыми и общественными зданиями с автономными котельными // Современное промышленное и гражданское строительство. 2008. Т. 4. № 4. С. 177-182.
 10. Михайлюта С.В., Леженин А.А. Влияние выбросов автономных источников теплоснабжения на загрязнение атмосферного воздуха // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2022. С. 116-123.
 11. Овчинников А.А. Экологическая оценка автономного теплоснабжения / А. А. Овчинников, Ю. И. Толстова // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика: материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти профессора Данилова Н. И. (1945–2015) – Даниловских чтений (Екатеринбург, 10–14 декабря 2018 г.). Екатеринбург: УрФУ, 2018. С. 342-345.
 12. Толстова Ю.И., Овчинников А. А. Загрязнение воздушного бассейна городов выбросами источников теплоснабжения // Сборник статей VI Международной конференции. Екатеринбург, 2021. С. 188-192.
 13. Теплоэнергетика и централизованное теплоснабжение России в 2014-2018 годах / Информационно-аналитический доклад. Москва, 2020. С. 110.
 14. Bhargava A., Shukla A., Bunkar N., Shandilya R., Lodhi L., Kumari R., Mishra P. K. Exposure to ultrafine particulate matter induces NF- κ B mediated epigenetic

- modifications // *Environmental Pollution*. 2019. Vol. 252. P. 39-50. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.05.065>
15. Bhargava A., Tamrakar S., Aglawe A., Lad H., R. K., Mishra D. K., Mishra P. K. Ultrafine particulate matter impairs mitochondrial redox homeostasis and activates phosphatidylinositol 3-kinase mediated DNA damage responses in lymphocytes // *Environmental Pollution*. 2018. Vol. 234. P. 406-419. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.093>
 16. Bhargava A., Bunkar N., Aglawe A., Pandey K. C., Tiwari R., Chaudhury K., Goryacheva I. Y., Mishra P. K. Epigenetic Biomarkers for Risk Assessment of Particulate Matter Associated Lung Cancer // *Current Cancer Drug Targets*. 2018. Vol. 19 (10). P. 1127-1147. <https://doi.org/10.2174/1389450118666170911114342>
 17. Cantone L., Nordio F., Hou L., Apostoli P., Bonzini M., Tarantini L., Baccarelli A. Inhalable Metal-Rich Air Particles and Histone H3K4 Dimethylation and H3K9 Acetylation in a Cross-sectional Study of Steel Workers // *Environmental Health Perspectives*. 2011. Vol. 119 (7). P. 964-969. <https://doi.org/10.1289/ehp.1002955>
 18. Ferrari L., Carugno M., & Bollati V. Particulate matter exposure shapes DNA methylation through the lifespan // *Clinical Epigenetics*. 2019. Vol. 11 (1). <https://doi.org/10.1186/s13148-019-0726-x>
 19. Nalbandian, H. Trace element emissions from coal, CCC/203: IEA Clean Coal Centre, September 2012. 89 p.
 20. Shraim A. Cui X. Li S et al. Arsenic speciation in the urine and hair of individuals exposed to airborne arsenic through coal-burning in Guizhou, PR China // *Toxicol Lett*. 2003. Vol. 137. P. 35-48. [https://doi.org/10.1016/s0378-4274\(02\)00379-x](https://doi.org/10.1016/s0378-4274(02)00379-x)
 21. Sun B., Shi Y., Yang X., Zhao T., Duan J., & Sun Z. DNA methylation: A critical epigenetic mechanism underlying the detrimental effects of airborne particulate matter // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2018. Vol. 161. P. 173-183. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.05.083>
 22. Tarantini L., Bonzini M., Tripodi A., et al. Blood hypomethylation of inflammatory genes mediates the effects of metal-rich airborne pollutants on blood coagulation // *Occupational and Environmental Medicine*. 2013. Vol. 70(6). P. 418-425. <https://doi.org/10.1136/oemed-2012-101079>
 23. Thomas A Werfel, David L Elion, Bushra Rahman, Donna J Hicks, Violeta Sanchez, Paula I Gonzalez-Ericsson, Mellissa J Nixon, Jamaal L James, Justin M Balko, Peggy Scherle, Holly K. Koblisch and Rebecca S. Cook. Treatment-Induced Tumor Cell Apoptosis and Secondary Necrosis Drive Tumor Progression

- in the Residual Tumor Microenvironment through MerTK and IDO1 // Cancer Research. 2019. Vol. 79 (1). P. 171–182. <https://doi.org/10.1158/0008-5472.can-18-1106>
24. World Health Organization WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. 2021. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329> (дата обращения 11.04.2023).
25. Wu QZ, et al. Ambient airborne particulates of diameter $\leq 1 \mu\text{m}$, a leading contributor to the association between ambient airborne particulates of diameter $\leq 2.5 \mu\text{m}$ and children's blood pressure // Hypertension. 2020. Vol. 75(2). P. 347–355. <https://doi.org/10.1161/hypertensionaha.119.13504>

References

1. Andrishunas A.M., Kleyn S.V., Goryaev D.V., Balashov S.Yu., Zagorodnov S.Yu. *Gigiena i sanitariya*, 2022, vol. 101, no. 11, pp. 1290-1298. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-11-1290-1298>
2. Andrishunas A.M., Glukhikh M.V., Chigvintsev V.M. *Fundamental'nye i prikladnye aspekty analiza riska zdorov'yu naseleniya. Materialy vsrossiyskoy nauchno-prakticheskoy internet-konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov Rospotrebnadzora s mezhdunarodnym uchastiem* [Fundamental and applied aspects of population health risk analysis. Materials of the All-Russian scientific and practical Internet conference of young scientists and specialists of Rospotrebnadzor with international participation]. Perm, 2020, pp. 25-30.
3. Barysheva O.B., Khabibullin Yu.Kh., Khasanova G.R. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*, 2016, no. 1(35), pp. 123-127.
4. Volkodaeva M.V., Karelin A.O., Lomtev A.Yu., Kanchan Ya.S., Levkin A.V., Timin S.D. *Gigiena i sanitariya*, 2023, vol. 102, no. 2, pp. 141-147. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-2-141-147>
5. Zavoruev V.V., Mankevich I.V., Zavorueva E.N. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*, 2023, no. 3 (178), pp. 70-74.
6. Zaytseva N.V., Kir'yanov D.A., Kleyn S.V., Tsinker M.Yu., Andrishunas A.M. *Gigiena i sanitariya*, 2023, vol. 102, no. 5, pp. 412–420. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-5-412-420>
7. Krylov D.A. *Gornaya Promyshlennost'*, 2016, no. 5 (129), pp. 66-71.
8. Kir'yanov D.A., Kamaltdinov M.R., Tsinker M.Yu., Babina S.V., Kleyn S.V., Andrishunas A.M. *Analiz riska zdorov'yu*, 2022, no. 4, pp. 33–44. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2022.4.03>

9. Kuznetsov S.G., Nazarov G.A. *Sovremennoe promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2008, vol. 4, no. 4, pp. 177-182.
10. Mikhaylyuta S.V., Lezhenin A.A. *Interekspos Geo-Sibir'*, 2022, pp. 116-123.
11. Ovchinnikov A.A., Tolstova Yu.I. *Energo- i resursosberezhenie. Energoobespechenie. Netraditsionnye i vozobnovlyaemye istochniki energii. Atomnaya energetika: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh, posvyashchennoy pamyati profesora Danilova N. I. (1945–2015) – Danilovskikh chteniy (Ekaterinburg, 10–14 dekabrya 2018 g.)* [Energy and resource saving. Energy supply. Non-traditional and renewable energy sources. Nuclear energy: materials of the International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduate Students and Young Scientists, dedicated to the memory of Professor N. I. Danilov (1945–2015) - Danilov Readings (Ekaterinburg, December 10–14, 2018)]. Ekaterinburg: UrFU, 2018, pp. 342-345.
12. Tolstova Yu.I., Ovchinnikov A. A. *Sbornik statey VI Mezhdunarodnoy konferentsii* [Collection of articles of the VI International Conference]. Ekaterinburg, 2021, pp. 188-192.
13. Thermal power engineering and centralized heat supply of Russia in 2014-2018 / Information and analytical report. Moscow, 2020, p. 110.
14. Bhargava A., Shukla A., Bunkar N., Shandilya R., Lodhi L., Kumari R., Mishra P. K. Exposure to ultrafine particulate matter induces NF- κ B mediated epigenetic modifications. *Environmental Pollution*, 2019, vol. 252, pp. 39-50. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.05.065>
15. Bhargava A., Tamrakar S., Aglawe A., Lad H., R. K., Mishra D. K., Mishra P. K. Ultrafine particulate matter impairs mitochondrial redox homeostasis and activates phosphatidylinositol 3-kinase mediated DNA damage responses in lymphocytes. *Environmental Pollution*, 2018, vol. 234, pp. 406-419. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.093>
16. Bhargava A., Bunkar N., Aglawe A., Pandey K. C., Tiwari R., Chaudhury K., Goryacheva I. Y., Mishra P. K. Epigenetic Biomarkers for Risk Assessment of Particulate Matter Associated Lung Cancer. *Current Cancer Drug Targets*, 2018, vol. 19 (10), pp. 1127-1147. <https://doi.org/10.2174/1389450118666170911114342>
17. Cantone L., Nordio F., Hou L., Apostoli P., Bonzini M., Tarantini L., Baccarelli A. Inhalable Metal-Rich Air Particles and Histone H3K4 Dimethylation and H3K9 Acetylation in a Cross-sectional Study of Steel Workers. *Environmental Health Perspectives*, 2011, vol. 119 (7), pp. 964-969. <https://doi.org/10.1289/ehp.1002955>
18. Ferrari L., Carugno M., & Bollati V. Particulate matter exposure shapes DNA methylation through the lifespan. *Clinical Epigenetics*, 2019, vol. 11 (1). <https://doi.org/10.1186/s13148-019-0726-x>

19. Nalbandian, H. Trace element emissions from coal, CCC/203: IEA Clean Coal Centre, September 2012, 89 p.
20. Shraim A. Cui X. Li S et al. Arsenic speciation in the urine and hair of individuals exposed to airborne arsenic through coal-burning in Guizhou, PR China. *Toxicol Lett.*, 2003, vol. 137, pp. 35–48. [https://doi.org/10.1016/s0378-4274\(02\)00379-x](https://doi.org/10.1016/s0378-4274(02)00379-x)
21. Sun B., Shi Y., Yang X., Zhao T., Duan J., & Sun Z. DNA methylation: A critical epigenetic mechanism underlying the detrimental effects of airborne particulate matter. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2018, vol. 161, pp. 173-183. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.05.083>
22. Tarantini L., Bonzini M., Tripodi A., et al. Blood hypomethylation of inflammatory genes mediates the effects of metal-rich airborne pollutants on blood coagulation. *Occupational and Environmental Medicine*, 2013, vol. 70(6), pp. 418-425. <https://doi.org/10.1136/oemed-2012-101079>
23. Thomas A Werfel, David L Elion, Bushra Rahman, Donna J Hicks, Violeta Sanchez, Paula I Gonzalez-Ericsson, Mellissa J Nixon, Jamaal L James, Justin M Balko, Peggy Scherle, Holly K. Koblisch and Rebecca S. Cook. Treatment-Induced Tumor Cell Apoptosis and Secondary Necrosis Drive Tumor Progression in the Residual Tumor Microenvironment through MerTK and IDO₁. *Cancer Research*, 2019, vol. 79 (1), pp. 171–182. <https://doi.org/10.1158/0008-5472.can-18-1106>
24. World Health Organization WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. 2021. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>
25. Wu QZ, et al. Ambient airborne particulates of diameter $\leq 1 \mu\text{m}$, a leading contributor to the association between ambient airborne particulates of diameter $\leq 2.5 \mu\text{m}$ and children's blood pressure. *Hypertension*, 2020, vol. 75(2), pp. 347-355. <https://doi.org/10.1161/hypertensionaha.119.13504>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАнные об авторе

Зайцева Нина Владимировна, д-р мед. наук, академик РАН, научный руководитель
ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»

*ул. Монастырская, 82, г. Пермь, 614045, Российская Федерация
zmv@fcrisk.ru*

Клейн Светлана Владиславовна, д-р мед. наук, профессор РАН, зав. отделом системных методов санитарно-гигиенического анализа и мониторинга ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»
*ул. Монастырская, 82, г. Пермь, 614045, Российская Федерация
kleyn@fcrisk.ru*

Андрешунас Алена Мухаматовна, младший научный сотрудник отдела системных методов санитарно-гигиенического анализа и мониторинга ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»
*ул. Монастырская, 82, г. Пермь, 614045, Российская Федерация
ama@fcrisk.ru*

Балашов Станислав Юрьевич, старший научный сотрудник, зав. лабораторией методов комплексного санитарно-гигиенического анализа и экспертиз ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»
*ул. Монастырская, 82, г. Пермь, 614045, Российская Федерация
stas@fcrisk.ru*

Чигвинцев Владимир Михайлович, канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник лаборатории ситуационного моделирования и экспертно-аналитических методов управления ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»
*ул. Монастырская, 82, г. Пермь, 614045, Российская Федерация
svm@fcrisk.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Nina V. Zaitseva, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, Scientific Director
*Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies
82, Monastyrskaya Str., Perm, 614045, Russian Federation*

zmv@fcrisk.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2356-1145>

Svetlana V. Kleyn, Doctor of Medical Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department for Systemic Procedures of Sanitary-Hygienic Analysis and Monitoring

Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies

82, Monastyrskaya Str., Perm, 614045, Russian Federation

kleyn@fcrisk.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2534-5713>

Alena M. Andrishunas, Junior researcher at the Department for Systemic Procedures of Sanitary-Hygienic Analysis and Monitoring

Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies

82, Monastyrskaya Str., Perm, 614045, Russian Federation

ama@fcrisk.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0072-5787>

Stanislav Yu. Balashov, Senior researcher, Head of the Laboratory of Integrated Sanitary Analysis and Examination Methods

Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies

82, Monastyrskaya Str., Perm, 614045, Russian Federation

stas@fcrisk.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6923-0539>

Vladimir M. Chigvintsev, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Researcher at the Situation Modeling and Expert and Analytical Management Techniques Laboratory

Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies

82, Monastyrskaya Str., Perm, 614045, Russian Federation

cvm@fcrisk.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0345-3895>

Поступила 03.07.2023

После рецензирования 25.07.2023

Принята 29.07.2023

Received 03.07.2023

Revised 25.07.2023

Accepted 29.07.2023