



Волкодаева М.В.^{1,2}, Карелин А.О.^{2,3}, Ломтев А.Ю.^{2,4}, Канчан Я.С.²,
Левкин А.В.², Тимин С.Д.¹

Учёт выбросов загрязняющих веществ от автономных источников теплоснабжения индивидуальных жилых домов при проведении сводных расчётов загрязнения атмосферного воздуха для населённых пунктов

¹ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», 199106, Санкт-Петербург, Россия;

²ООО «Институт проектирования, экологии и гигиены», 197022, Санкт-Петербург, Россия;

³ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 197022, Санкт-Петербург, Россия;

⁴ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 191015, Санкт-Петербург, Россия

Введение. Автономные источники теплоснабжения (АИТ) могут вносить решающий вклад в уровень загрязнения атмосферного воздуха населённых пунктов. Однако выбросы от АИТ в большинстве случаев либо не включаются в сводные расчёты загрязнения атмосферного воздуха, либо оцениваются с существенными неопределённостями.

Цель исследования – гигиеническая оценка методов и результатов учёта выбросов загрязняющих веществ от АИТ индивидуальных жилых домов при проведении сводных расчётов загрязнения атмосферного воздуха населённых пунктов.

Материалы и методы. Использована оригинальная методология поэтапного обследования совокупности АИТ города и представлены результаты сводных расчётов загрязнения атмосферного воздуха 18 городов, проведённые с использованием этой методологии. Расчёты разовых, среднесезонных (за холодный период) и среднегодовых приземных концентраций загрязняющих веществ выполнены согласно действующим нормативным документам с использованием унифицированной программы расчёта загрязнения атмосферы (УПРЗА) «Эколог-город».

Результаты. Установлено, что в изучаемых городах, расположенных в азиатской части Российской Федерации, значительное число источников загрязнения атмосферного воздуха представляют собой АИТ; из них более 90% в качестве энергоносителей используют уголь и дрова. В 15 городах наибольшая расчётная максимальная разовая приземная концентрация хотя бы одного загрязняющего вещества, создаваемая выбросами от АИТ, превышала предельно допустимую максимальную разовую концентрацию. Самые значительные превышения гигиенических нормативов загрязнения атмосферного воздуха отмечены для бенз(а)пирена.

Ограничения исследования связаны с тем, что прямые инструментальные измерения для определения характеристик выбросов загрязняющих веществ от АИТ в атмосферу невозможны.

Заключение. Площадь, на которой расчётная максимальная разовая приземная концентрация по крайней мере одного загрязняющего вещества превышала ПДК_{м.р.}, достигала 45% территории города, а на 50% территории среднесезонная концентрация превосходила предельно допустимую среднегодовую. Наиболее эффективным мероприятием по снижению загрязнения атмосферного воздуха населённых мест выбросами от АИТ является замена твёрдого и жидкого минерального топлива на природный газ. Требуются унификация методов учёта и инвентаризации АИТ как источников загрязнения атмосферного воздуха.

Ключевые слова: сводные расчёты; загрязнение атмосферного воздуха; автономные источники теплоснабжения; выбросы загрязняющих веществ; приземные концентрации загрязняющих веществ

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

Для цитирования: 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; 102(2): 141–147. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-2-141-147> <https://elibrary.ru/nybmxl>

Для корреспонденции: Волкодаева Марина Владимировна, канд. геофиз. наук, доктор техн. наук, профессор каф. метрологии, приборостроения и управления качеством, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», 199106, Санкт-Петербург. E-mail: m.volkodaeva@yandex.ru

Участие авторов: Волкодаева М.В. – концепция и дизайн исследования, сбор материала; Карелин А.О. – анализ полученных данных, написание текста; Ломтев А.Ю. – концептуализация, надзор, проверка; Канчан Я.С. – оценка выбросов от автономных источников теплоснабжения; Левкин А.В. – работа с геоинформационными системами, выполнение расчётов рассеивания загрязняющих веществ; Тимин С.Д. – сбор материала, выполнение расчётов рассеивания загрязняющих веществ. *Все соавторы* – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

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

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила: 02.11.2022 / Принята к печати: 08.12.2022 / Опубликована: 25.03.2023

Marina V. Volkodaeva^{1,2}, Aleksandr O. Karelin^{2,3}, Aleksey Yu. Lomtev^{2,4}, Yakov S. Kanchan², Andrey V. Levkin², Sergey D. Timin¹

On accounting for emissions of pollutants from autonomous heat supply sources of individual residential buildings when conducting summary calculations of atmospheric air pollution for settlements

¹St. Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, 199106, Russian Federation;

²Institute of Design, Ecology and Hygiene, Saint-Petersburg, 197022, Russian Federation;

³I.P. Pavlov First Saint-Petersburg State Medical University, St. Petersburg, 197022, Russian Federation;

⁴I.I. Mechnikov North-West State Medical University, St. Petersburg, 191015, Russian Federation

Introduction. Autonomous sources of heat supply (ASHS) can make a crucial contribution to the level of atmospheric air pollution in settlements. However, emissions from ASHS in most cases are either not included in the summary calculations of atmospheric air pollution at all or estimated with significant uncertainties. **The purpose of this study** was a hygienic assessment of methods and results of accounting for emissions of pollutants from the ASHS of individual residential buildings when conducting summary calculations of atmospheric air pollution for settlements.

Materials and methods. The original methodology of a phased survey of the city's ASHS was used and the results of summary calculations of atmospheric air pollution in 18 cities conducted using this methodology are presented. Calculations of single, average seasonal (for the cold period) and average annual surface concentrations of pollutants were carried out in accordance with current regulatory documents using the unified software for calculating atmospheric pollution (UPRZA) "Ecologist-city". In all the studied cities a significant number of sources of atmospheric air pollution was established to be ASHS. In more than 90% of these sources, coal and firewood were used as energy carriers. The greatest excess of hygienic standards of atmospheric air quality was noted for benz(a)pyrene. In 15 cities, the highest calculated maximum single surface concentration of at least one pollutant created by emissions from ASHS exceeded the maximum allowable single concentration (MACs).

Limitations of the study are due to the fact that direct instrumental measurements to determine the characteristics of emissions from ASHS into the atmosphere are impossible.

Conclusions. The area of the city's territory where the estimated maximum single surface concentration of at least one pollutant exceeded the MACs, reached 45%, and the seasonal average concentration exceeded maximum allowable average annual concentration on 50% of the territory. The most effective measure to reduce air pollution by emissions from ASHS is the replacement of solid and liquid mineral fuels with natural gas. Unification of methods of accounting and inventory of ASHS as sources of atmospheric air pollution is required.

Keywords: summary calculations; air pollution; autonomous sources of heat supply; emissions of pollutants; surface concentrations of pollutants

Compliance with ethical standards. The study does not require the submission of the conclusion of the Biomedical Ethics Committee or other documents.

For citation: Volkodaeva M.V., Karelin A.O., Lomtev A.Yu., Kanchan Y.S., Levkin A.V., Timin S.D. On accounting for emissions of pollutants from autonomous heat supply sources of individual residential buildings when conducting summary calculations of atmospheric air pollution for settlements. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2023; 102(2): 141-147. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-2-141-147> <https://elibrary.ru/nybmxl> (In Russian)

For correspondence: Marina V. Volkodaeva, MD, PhD, DSci., Professor, Department of Metrology, Instrumentation and Quality Management, Institute of Design, Ecology and Hygiene, Saint-Petersburg, 197022, Russian Federation; St. Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, 199106, Russian Federation. E-mail: m.volkodaeva@yandex.ru

Information about authors:

Volkodaeva M.V., <https://orcid.org/0000-0002-6383-9757>
Karelin A. O., <https://orcid.org/0000-0003-2467-7887>
Lomtev A.Yu., <https://orcid.org/0000-0003-3183-2582>
Kanchan Y.S., <https://orcid.org/0000-0002-2614-2424>
Levkin A.V., <https://orcid.org/0000-0002-1900-0508>
Timin S.D., <https://orcid.org/0000-0002-3343-912X>

Contribution: Volkodaeva M.V. – research concept and design; Karelin A.O. – analysis of the received data, writing the text; Lomtev A.Yu. – conceptualization, supervision, verification; Kanchan Y.S. – assessment of emissions from autonomous heat supply sources; Levkin A.V. – geoinformation systems, carrying out calculations of dispersion of pollutant; Timin S.D. – field surveys, getting the source data, creating a data bank and performing calculations. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

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

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: November 2, 2022 / Accepted: December 8, 2022 / Published: March 25, 2023

Введение

Объективная оценка качества атмосферного воздуха населённых мест является важнейшей составляющей обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения, базой оценки рисков для здоровья населения, разработки воздухоохраных мероприятий и принятия управленческих решений [1–5]. Опыт показывает, что для этого целесообразно сочетать анализ получаемых на стационарных и передвижных постах наблюдения за загрязнением атмосферы (ПНЗ) данных о реальных концентрациях загрязняющих веществ и комплексных сводных расчётов загрязнения атмосферного воздуха населённых пунктов [2, 6].

К сожалению, сеть мониторинга атмосферного воздуха имеет ряд недостатков. Так, по данным Ежегодника [7], в 2020 г. государственной наблюдательной сетью (ГНС) мониторинга загрязнения атмосферного воздуха было охвачено только 20% городов России, из них 100% городов с населением более 1 000 000 человек, 73% городов – с населением более 100 000 человек, 10% городов – с населением менее 100 000 человек. Таким образом, в городах с населением менее 100 000 человек в большинстве случаев нет возможности использовать данные натурных измерений. Даже в тех случаях, когда наблюдения проводятся, перечень определяемых компонентов ограничен, часто не включает специфических для предприятий населённого пункта загрязняющих веществ, а количество постов недостаточно для того, чтобы дать оценку общегородского загрязнения атмосферного воздуха.

Современные математические методы позволяют с достаточной точностью проводить интерполяцию и экстраполяцию данных, получаемых на стационарных и передвижных ПНЗ, на близлежащие территории, однако имеют ограничения. Например, в наших исследованиях хорошие результаты показал один из методов детерминистской интерполяции, а именно метод (обратных) взвешенных расстояний, но и он требует учёта ряда неопределённостей [8]. Комплексные сводные расчёты загрязнения атмосферного воздуха населённых пунктов во многом нивелируют недостатки инструментального мониторинга. Они позволяют получить информацию по большому перечню веществ, анализ которых на ПЗН невозможен по техническим, экономическим и другим причинам; получить данные о концентрациях загрязняющих веществ (ЗВ) в любой точке населённого пункта; оценить вклад различных источников загрязнения атмосферного воздуха (ИЗАВ) в суммарный уровень загрязнения атмосферы; рассчитывать значения фоновых концентраций рассматриваемых ЗВ; прогнозировать эффективность воздухоохраных мероприятий с точки зрения соблюдения гигиенических критериев качества атмосферного воздуха и т. д. [9]. Сводные расчёты загрязнения атмосферного воздуха в населённых пунктах (далее – сводные расчёты) по данным о характеристиках выбросов ЗВ от антропогенных ИЗАВ, инициированные в 80-х годах XX века согласно ГОСТ¹, получили мощную правовую поддержку в виде нормативно-правовых документов^{2,3,4}. Было доказано, что качество сводных расчётов зависит от полноты исходных данных. Если для промышленных предприятий, отдельных производственных процессов и транспорта имеются официально утверждённые методики по определению выбросов ЗВ в атмосферу, используемые при проведении инвентаризации, разра-

ботке проектов нормативов допустимых выбросов (НДВ) и санитарно-защитных зон (СЗЗ), и в ряде случаев разработано программное обеспечение (например, программа «АТП-Эколог», реализующая методику⁵, программа «Дизель», реализующая методику⁶), то для автономных источников теплоснабжения (АИТ) такие методики и программы отсутствуют. В ряде случаев это существенно влияет на качество комплексных расчётов загрязнения атмосферного воздуха населённых пунктов, так как в определённых условиях АИТ могут вносить решающий вклад в уровень его загрязнения. Например, доля бенз(а)пирена, поступающего в атмосферный воздух от источников АИТ, на разных территориях г. Новокузнецка составила от 40,9 до 99,2% [10].

В работах иностранных авторов отмечаются случаи краткосрочного повышения в атмосферном воздухе концентраций диоксида азота и серы, мелкодисперсных взвешенных частиц и бенз(а)пирена в результате отопления жилых помещений дровами или углём [11]. В связи с этим правильный учёт выбросов ЗВ от АИТ индивидуальных жилых домов приобретает большое значение при проведении сводных расчётов загрязнения атмосферного воздуха населённых пунктов.

Цель исследования – гигиеническая оценка методов и результатов учёта выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) от автономных источников теплоснабжения (АИТ) индивидуальных жилых домов при проведении сводных расчётов загрязнения атмосферного воздуха населённых пунктов.

Материалы и методы

Проведены, актуализированы и проанализированы сводные расчёты для 18 городов, расположенных в различных федеральных округах Российской Федерации: Братска, Нижнего Тагила, Новокузнецка, Омска, Череповца, Читы, Красноярска, Улан-Удэ, Балашихи, Люберец, Зимы, Свирска, Усоля-Сибирского, Черемхова, Шелехова, Гусинозёрска, Каменска, Селенгинска. В некоторых городах сводные расчёты актуализировались с интервалом от 5 до 9 лет. В качестве исходных данных использована информация о выбросах всех источников загрязнения атмосферы (ИЗАВ), расположенных на территории рассматриваемого города (региона): материалы проектов НДВ (ПДВ) предприятий, инвентаризации источников выбросов, данные об интенсивности транспортных потоков и т. д. Для оценки выбросов ЗВ от АИТ применена оригинальная методология поэтапно-обследования совокупности АИТ города.

На первом этапе собраны актуальные данные местных органов власти об отоплении индивидуальных жилых домов: карты градостроительного зонирования и схемы теплоснабжения, сведения о числе индивидуальных домовладений, использующих для отопления тот или иной вид топлива, и о его годовом потреблении.

На втором этапе проведены натурные обследования АИТ не менее 5% индивидуальных жилых домов города. Такие обследования проводили с согласия и при возможном участии хозяев обследуемых домов. На этом этапе также уточняли и при необходимости корректировали сведения, полученные на первом этапе.

Обследования проведены с учётом того, что инструментальные измерения по определению характеристик выбросов ЗВ от АИТ в атмосферу невозможны, поскольку при таких измерениях необходимо соблюдение ряда требований

¹ ГОСТ 17.2.3.02–78. Правила установления допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями.

² Указ Президента РФ от 07.05.2018 г. № 204 (ред. от 19.07.2018 г.) «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года».

³ Федеральный закон от 04.05.1999 г. № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» (ред. от 11.06.2021 г.).

⁴ Правила проведения сводных расчётов загрязнения атмосферного воздуха, включая их актуализацию (утверждены приказом Минприроды России от 29 ноября 2019 г. № 813).

⁵ Методика проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу автотранспортных предприятий (расчётным методом). М., 1998, с дополнениями и изменениями к Методике проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу автотранспортных предприятий (расчётным методом). М., 1999.

⁶ Методика расчёта выделений загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных дизельных установок. НИИ АТМОСФЕРА, СПб., 2001.

Таблица 1 / Table 1

Среднегодовые, среднесезонные концентрации каждого загрязняющего вещества в Братске, Новокузнецке, Омске, Чите и 98-й процентиль функции распределения концентраций загрязняющих веществAverage annual, average seasonal concentrations of each pollutant in the cities of Bratsk, Novokuznetsk, Omsk, Chita and the 98th percentile of the distribution function of pollutant concentrations

Показатель Index	Братск / Bratsk			Новокузнецк / Novokuznetsk			Омск / Omsk			Чита / Chita		
	CO	NO ₂	C ₂₀ H ₁₂	CO	NO ₂	C ₂₀ H ₁₂	CO	NO ₂	C ₂₀ H ₁₂	CO	NO ₂	C ₂₀ H ₁₂
98-й процентиль, в долях ПДК _{м.р.} 98 th percentile, in MPC _{м.р.} shares	> 1	> 1	–	0.5–1.2	> 1	–	> 1	< 1	–	> 1	> 1	–
Среднегодовые, в долях ПДК _{ср.} Average annual, in MPC _{ср.} shares	< 1	< 1	2.4–12.2	< 1	0.4–1.48	3.4–10.2	< 1	< 1	0.1–1.9	< 1	0.25–1.15	6.7–14.4
Среднесезонные, в долях ПДК _{ср.} Average seasonal, in MPC _{ср.} shares	< 1	< 1	2.6–14	< 1	0.45–1.7	4.3–11.4	< 1	< 1	0.2–3	< 1	0.24–1.33	9.7–21

по обеспечению корректности получаемых результатов и безопасности исследователей. Так, требования, изложенные в ОНД-90⁷ (п. 7.1.2), предусматривают:

- оборудование специального ввода для средств измерений, диаметр которого зависит от габаритов вводимого в газодоступное средство измерения, то есть отверстия в дымовой трубе, оборудованного штуцером;
- оборудование рабочей площадки для отбора проб и измерений, площадь которой должна быть не менее 2 м², при этом «площадка и ведущая к ней лестница должны иметь ограждение, аппаратура должна надёжно закрепляться».

Владелец дома, даже если он согласится на сотрудничество с исследователями, не будет брать на себя ответственность за безопасность специалиста, проводящего измерения на дымовой трубе его дома, не будет сверлить дыру в дымовой трубе, оборудовать её штуцером и выполнять другие требования руководящих документов.

Из-за указанных сложностей проведения натурного обследования для оценки выбросов ЗВ от АИТ использовали следующие методы определения характеристик, необходимых при оценке выбросов ЗВ: интервью с хозяином дома; при согласии хозяина – ознакомление с доступными документами, описывающими устройство, выполняющее функции АИТ, и (или) простые измерения, не связанные с возможным нарушением безопасности участников измерений (измерение высоты трубы, объёма часового потребления топлива и т. п.). При обследовании каждого дома, отапливаемого АИТ, выясняли технические и эксплуатационные характеристики устройства, выполняющего функции АИТ; характеристики используемого топлива, объёма часового и годового потребления топлива, режим отопления дома. Число параметров (от 13 до 25), определяемых для одного АИТ, зависело от типа топливосжигающего устройства и вида топлива. Полученные значения параметров после их анализа использовали для расчёта характеристик выбросов загрязняющих веществ от АИТ, необходимых для расчёта их приземных концентраций. Расчёты разовых, среднесезонных (за холодный (отопительный) период) и среднегодовых приземных концентраций ЗВ проводили согласно действующим нормативным документам^{8,9} с использованием унифицированной программы расчёта загрязнения атмосферы (УПРЗА) «Эколог-город» (разработчик – фирма «Интеграл», Россия).

⁷ Общесоюзный нормативный документ ОНД-90 «Руководство по контролю источников загрязнения атмосферы» (утв. постановлением Госкомприроды СССР от 30 октября 1990 г. № 8). Введён в действие с 1 января 1991 г.

⁸ Правила проведения сводных расчётов загрязнения атмосферного воздуха, включая их актуализацию (утверждены приказом Минприроды России от 29 ноября 2019 г. № 813).

⁹ Методы расчётов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе (утверждены приказом Минприроды России от 06.06.2017 г. № 273).

Результаты

Анализ показал, что во многих обследованных населённых пунктах загрязнение атмосферного воздуха было высоким и чрезвычайно высоким. Даже в городах, где практически отсутствуют промышленные предприятия (Черемхово, Зима, Свирск), наблюдали высокие уровни загрязнения атмосферного воздуха, что можно объяснить поступлением выбросов ЗВ от источников теплоснабжения. Подтверждением может служить увеличение в этих населённых пунктах концентраций таких ЗВ, как оксид углерода, диоксид азота, бенз(а)пирен, характерных для сжигания минерального топлива, в зимний период из-за усиления отопления и дополнительных выбросов в атмосферный воздух от источников теплоснабжения. В других городах также отмечены превышения ПДК химических веществ, обусловленные сжиганием минерального топлива. В табл. 1 приведены среднегодовые, среднесезонные концентрации каждого ЗВ в Братске, Новокузнецке, Омске, Чите и 98-й процентиль функции распределения концентраций ЗВ.

Как видно из таблицы, наиболее значительное превышение гигиенических нормативов качества атмосферного воздуха отмечается по бенз(а)пирену и достигает по среднесезонным концентрациям (зимний период) в Братске 14 ПДК_{ср.}, в Новокузнецке – 11,4 ПДК_{ср.}, в Омске – 3 ПДК_{ср.}, в Чите – 21 ПДК_{ср.}, а по среднегодовым соответственно 12,2; 10,2; 1,9 и 14,4 ПДК_{ср.} Максимальные разовые концентрации оксида углерода и диоксида азота превышают ПДК_{м.р.} во всех городах, кроме Омска. Характерно, что и в этих городах более высокие концентрации отмечались в зимний период, хотя летний период считается худшим по метеоусловиям для рассеивания ЗВ в атмосферном воздухе. Сводные расчёты, выполненные авторами данной статьи, позволили установить, что практически во всех изучаемых городах азиатской части Российской Федерации значительное число ИЗАВ представляют собой АИТ: котлы и печи, отапливающие индивидуальные (как правило, частные) малоэтажные дома.

Согласно данным РОССТАТ¹⁰, доля семейств, проживающих в индивидуальных домах, в городах Российской Федерации составила в 2020 г. 14,3% от всех городских домохозяйств. Отмечается постоянный рост доли таких семей в городах (с 2018 г. увеличение составило 2,5%). При этом только 2,6% индивидуальных домов в городах обогреваются с помощью центрального отопления. Одной из важных причин столь малой доли индивидуальных домов, подключённых к сетям централизованного отопления, являются большие потери тепла в теплотрассах при организации централизованного отопления совокупностей индивидуальных домов. Например, как показано авторами [12], в зоне расположения индивидуальных домов относительные потери тепла на теплотрассе в ~10 раз больше, чем в зоне компактного расположения крупных четырёх- и пятиэтажных домов,

¹⁰ Комплексное исследование условий жизни населения. РОССТАТ, 2021.

и в ~ 1,6 раза больше, чем при отоплении двух- и трёхэтажных зданий, расположенных на двух параллельных улицах.

Как показали наши исследования, доля индивидуальных домов, отапливаемых автономными электроустановками (получающими электричество от электросетей), в изучаемых городах азиатской части Российской Федерации чрезвычайно мала, за исключением г. Братска, в котором за счёт электроэнергии отапливается ~10% индивидуальных домов и ещё в ~17% домов электроэнергия используется для получения дополнительного тепла при сильных морозах. Для отопления индивидуальных домов, не подключённых к сетям централизованного теплоснабжения и не использующих автономные электроустановки, то есть для основной массы индивидуальных домов, в качестве источников теплоснабжения используются АИТ, в которых сжигается углеводородное топливо: уголь, дрова, газ, жидкое топливо и т. д. В обследованных городах азиатской части Российской Федерации в качестве энергоносителей при выработке тепла преимущественно (более 90%) использовались уголь и дрова. К сожалению, доля газа (природного и сжиженного) в большинстве городов очень мала. Также невелики и доли жидкого топлива и топлива, изготовленного из угля или древесины (пеллеты, топливные брикеты и т. п.). В атмосферу от АИТ поступают следующие ЗВ: оксиды азота, оксид углерода, диоксид серы, взвешенные вещества (в том числе мелкодисперсные PM_{10} и $PM_{2,5}$), бенз(а)пирен. Интенсивность (мощность) выбросов ЗВ и их компонентный состав, в том числе компонентный и дисперсный состав выбрасываемых твёрдых частиц, определяются видом и характеристиками сжигаемого топлива, характеристиками установок, используемых в качестве АИТ, и режимом сжигания топлива.

Значимость возможного влияния выбросов ЗВ от АИТ на уровень загрязнения воздуха приземного слоя атмосферы в населённых пунктах (и особенно в зонах расположения индивидуальных домов) обусловлена следующими обстоятельствами.

Особенностями поступления ЗВ в атмосферу из труб АИТ:

1) печи и котлы, используемые в качестве АИТ, не оборудуются в отличие от промышленных ИЗАВ системами газопылеочистки;

2) выход дымовых газов (далее – ГВС, газозвдушенная смесь) из труб АИТ происходит благодаря естественной тяге, при этом объёмный расход ГВС, как правило, не превосходит $0,01 \text{ м}^3/\text{с}$, а высота этих труб в большинстве случаев колеблется от 5 до 10 м;

3) при таких параметрах ИЗАВ наибольшая приземная концентрация ЗВ, поступающего из ИЗАВ, достигается на расстоянии ~15–25 м от трубы, то есть на участке, где расположен индивидуальный дом, или на соседнем участке.

Большим числом индивидуальных домов, отапливаемых АИТ, в населённых пунктах:

- карты градостроительного зонирования городов, исследованные авторами, показывают, что участки индивидуальных домовладений расположены, как правило, вплотную друг к другу вдоль улиц; компактные совокупности этих участков занимают в соответствии с градостроительным кодексом¹¹ определённые зоны в городах. При этом каждое домовладение оказывается в зоне влияния выбросов ЗВ от всех соседних участков своей зоны, расположенных с наветренной стороны.

- для городов, перечисленных выше, это число составляет от ~ 200 (Череповец) до ~ 45 000 (Омск).

Авторами обнаружено, что в 15 городах наибольшая расчётная максимальная разовая приземная концентрация хотя бы одного ЗВ, создаваемая его выбросами от АИТ, превышала предельно допустимую максимальную разовую концентрацию (ПДК_{м.р.}) этого ЗВ. Территория, на которой расчётная максимальная разовая приземная концентрация

хотя бы одного ЗВ превышала ПДК_{м.р.}, для 10 городов составила более 10% всей площади, из них для 4 городов – более 45% всей площади. Наибольшая расчётная среднесезонная приземная концентрация ЗВ, создаваемая выбросами от АИТ, превысила предельно допустимые среднегодовые концентрации (ПДК_{ср.}) в девяти городах. Площадь, на которой расчётная среднесезонная приземная концентрация хотя бы одного ЗВ превышала ПДК_{ср.}, в этих 9 городах составила более 16% территории, а в 5 из них – более 50%.

Наиболее эффективным способом снижения приземных концентраций ЗВ непосредственно в зонах жизнедеятельности людей является перевод АИТ на использование природного газа. При переходе АИТ на использование природного газа прекращаются выбросы в атмосферу диоксида серы, взвешенных веществ, включая пыль неорганическую с содержанием диоксида кремния от 20 до 70%. Это подтверждается проведёнными исследованиями в городах Люберцы и Балашиха, где практически в 100% индивидуальных домов используется в качестве топлива газ. Вклад АИТ в суммарный уровень загрязнения атмосферного воздуха этих городов составляет менее 1%. Альтернативные методы оказываются неэффективными либо слишком затратными. Перевод домов, отапливаемых АИТ, на теплоснабжение от котельных или ТЭЦ снижает эффективность использования топлива ввиду существенных потерь тепла в разветвлённой сети труб, подводящих теплоноситель к домам.

Сводные расчёты позволили оценить не только вклад в суммарный уровень загрязнения атмосферного воздуха различных ИЗАВ, но и провести прогнозную оценку загрязнения атмосферного воздуха с учётом возможной реализации различных сценариев развития региона, в том числе схем теплоснабжения. В табл. 2 представлены результаты сводных расчётов на территории г. Улан-Удэ для существующего положения (СП) и на перспективу (П) с учётом газификации частного сектора. Переход на газ приведёт к существенному уменьшению выбросов газообразных ЗВ (азота диоксида – на 54%, углерода оксида – на 99,2%) и ликвидации выбросов бенз(а)пирена – канцерогена группы 1 по классификации МАИР, концентрации которого, как было указано выше, в наибольшей степени превышают ПДК_{ср.} в атмосферном воздухе всех изученных городов.

Обсуждение

Исследователями накоплен значительный опыт оценки уровней загрязнения атмосферного воздуха населённых мест, однако имеются существенные трудности и неопределённости [1, 2, 13]. Одним из эффективных подходов к решению этой задачи является проведение сводных расчётов загрязнения атмосферного воздуха населённых пунктов или регионов [2, 6, 9]. Сводные расчёты загрязнения атмосферного воздуха – это такие расчёты приземных концентраций ЗВ по данным об их выбросах, в которых используется информация о выбросах всех источников загрязнения атмосферы (ИЗА), расположенных на территории рассматриваемого города (региона). Однако следует отметить, что при относительно полном учёте выбросов от промышленных предприятий, учреждений, транспорта выбросы от АИТ в большинстве случаев вообще не включаются в расчёт или оцениваются с существенными неопределённостями. Это обусловлено разнообразием конструкций АИТ, видов и характеристик используемого топлива, режимов его сжигания, высотой и конструкцией труб. Для выбросов АИТ в отличие от районных котельных максимальные приземные концентрации ЗВ значительно зависят от характера застройки [14].

Актуальность решения указанной задачи обусловлена ростом использования АИТ в Российской Федерации¹⁰ [15] и, как показали наши исследования, превышениями гигиенических нормативов концентраций ЗВ в атмосферном воздухе на значительных территориях из-за выбросов АИТ. При этом медико-экологическая ситуация в зоне влияния

¹¹ «Градостроительный кодекс Российской Федерации» от 29.12.2004 г. № 190-ФЗ (ред. от 27.12.2019 г.).

Таблица 2 / Table 2

Концентрации загрязняющих веществ, создаваемые автономными источниками теплоснабжения на территории г. Улан-Удэ, для существующего положения (СП) и на перспективу (П) с учётом выполнения мероприятия по газификации частного сектора, по данным сводных расчётов

Concentrations of pollutants created by autonomous sources of heat supply in the territory of Ulan-Ude for the current situation (CS) and the perspective (taking into account the implementation of measures for the gasification of the private sector), according to consolidated calculations

Наименование Name	ПДК _{м.р.} (ОБУВ), мг/м ³ MPC _{м.о.} Estimated safe exposure level (ESEL), mg/m ³	ПДК _{с.с.} , мг/м ³ MPC _{с.с.} , mg/m ³	Максимальная концентрация / Maximum concentration							
			доли ПДК _{м.р.} in MPC _{м.о.} shares		доли ПДК _{с.с.} in MPC _{с.с.} shares		Изменение (П – СП) Variance (P – CS)			
			СП / CS	П / P	СП / CS	П / P	доли ПДК _{м.р.} in MPC _{м.о.} shares	%	доли ПДК _{с.с.} in MPC _{с.с.} shares	%
Азота диоксид (двуокись азота; пероксид азота) NO ₂ ; NO ₃	0.2	0.04	0.54	0.05	0.14	0.07	–0.50	91.1	–0.08	54.0
Углерода оксид (углерод окись; углерод моноокись; угарный газ) CO ₂ ; CO	5	3	2.46	0.004	0.22	0.002	–2.46	99.8	–0.22	99.2
Бенз(а)пирен C ₂₀ H ₁₂	–	0.000001	–	–	2.99	0.002	–	–	–2.99	99.9

Note: P – Perspective.

выбросов автономных систем теплоснабжения характеризуется как негативная, что отражается в увеличении обращений за медицинской помощью и консультаций по поводу болезней органов дыхания [15].

Для повышения точности сводных расчётов загрязнения атмосферного воздуха населённых пунктов необходим полный и объективный учёт выбросов от АИТ. Авторами разработана и использована оригинальная методология поэтапного обследования совокупности АИТ города (раздел «Материалы и методы» данной статьи), позволившая повысить объективность сводных расчётов загрязнения атмосферного воздуха населённых пунктов и оценить эффективность воздухоохраняющих мероприятий. Также было необходимо обобщить имеющийся опыт обследования АИТ и учёта их выбросов для подготовки официального нормативно-методического документа. Результаты работы показали, что наиболее эффективным мероприятием по снижению загрязнения атмосферного воздуха населённых мест выбросами АИТ является замена твёрдого и жидкого минерального топлива на природный газ. Очистка выбросов от продуктов сгорания топлива в АИТ, предложенная Ю.И. Толстовой и А.А. Овчинниковым, может иметь ограниченное применение по экономическим причинам и в связи с отсутствием правовых основ для оснащения ими АИТ индивидуальных домовладений.

Ограничения исследования. Как было указано ранее, при написании работы проанализированы сводные расчёты (с актуализацией некоторых из них с интервалом от 5 до 9 лет) для 18 городов, расположенных в различных федеральных

округах Российской Федерации. Ограничения исследования связаны с тем, что прямые инструментальные измерения по определению характеристик выбросов ЗВ от АИТ в атмосфере невозможны.

Заключение

Совершенствование сводных расчётов загрязнения атмосферного воздуха требует объективного учёта в качестве ИЗАВ выбросов автономных источников теплоснабжения частных домовладений, не подключённых к централизованным сетям отопления. Авторами разработана и успешно использована оригинальная методология поэтапного обследования совокупности АИТ города. Установлено, что практически во всех изученных городах азиатской части Российской Федерации значительное число ИЗАВ представляют собой АИТ, использующие в качестве энергоносителей при выработке тепла преимущественно (более 90%) уголь и дрова. В 15 городах из 18 наибольшая расчётная максимальная разовая приземная концентрация хотя бы одного ЗВ, создаваемая его выбросами от АИТ, превышала ПДК_{м.р.}. Площадь, на которой расчётная максимальная разовая приземная концентрация хотя бы одного ЗВ превышала ПДК_{м.р.}, достигала 45% территории города, а среднесезонная концентрация ЗВ превышала ПДК_{с.с.} на 50% территории. Значимость оценки выбросов от АИТ, необходимость получения сопоставимых результатов требуют разработки официального нормативно-методического документа по учёту и инвентаризации этих источников загрязнения атмосферного воздуха.

Литература

1. Сабирова З.Ф., Бударина О.В., Винокуров М.В., Фаттахова Н.Ф. Методические вопросы изучения влияния загрязнения воздуха на здоровье населения. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(10): 987–9.
2. Карелин А.О., Ломтев А.Ю., Волкодаева М.В., Еремин Г.Б. Совершенствование подходов к оценке воздействия антропогенного загрязнения атмосферного воздуха на население в целях управления рисками для здоровья. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(1): 82–8. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2019-98-1-82-86>
3. Попова А.Ю., Зайцева Н.В., Май И.В. Здоровье населения как целевая функция и критерий эффективности мероприятий федерального проекта «Чистый воздух». *Анализ риска здоровью*. 2019; (4): 4–13. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.4.01>
4. Зайцева Н.В., Жданова-Заплесвичко И.Г., Землянова М.А., Пережогин А.Н., Савиных Д.Ф. Опыт организации и проведения санитарно-эпидемиологических исследований по выявлению и доказательству связи нарушений здоровья населения с качеством атмосферного воздуха в зонах влияния хозяйствующих субъектов. *Здоровье населения и среда обитания – ЗНССО*. 2021; (1): 4–15. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2021-334-1-4-15>
5. Зайцева Н.В., Май И.В. Основные итоги, перспективы применения и совершенствования оценки рисков здоровью населения сибирских городов – участников проекта «Чистый воздух» (Братск, Норильск, Красноярск, Чита). *Гигиена и санитария*. 2021; 100(5): 519–27. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-5-519-527>

Original article

6. Волкодаева М.В., Левкин А.В. Использование результатов сводных расчётов для совершенствования систем качества мониторинга атмосферного воздуха в городах. *Ученые записки российского государственного гидрометеорологического университета*. 2012; (28): 27–32.
7. *Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2020 год: ежегодный сборник*. М.: Росгидромет; 2021.
8. Карелин А.О., Ломтев А.Ю., Фридман К.Б., Еремин Г.Б., Панькин А.В. Выявление источников выбросов загрязняющих веществ, вызывающих жалобы населения на неприятные запахи. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(6): 601–7. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-6-601-607>
9. Волкодаева М.В., Канчан Я.С., Левкин А.В., Ломтев А.Ю. Использование результатов сводных расчетов при нормировании выбросов. *Экология производства*. 2018; (3): 62–7.
10. Кузьмин С.В., Авалиани С.Л., Додина Н.С., Шашина Т.А., Кислицин В.А., Синицына О.О. Практика применения оценки риска здоровью в федеральном проекте «Чистый воздух» в городах-участниках (Череповец, Липецк, Омск, Новокузнецк): проблемы и перспективы. *Гигиена и санитария*. 2021; 100(9): 890–6. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-9-890-896>
11. ООН. ЕЭК. Отопление жилья древесиной и углем: воздействие на здоровье человека и варианты политики в Европе и Северной Америке. ECE/EB.AIR/2014/6; 2014.
12. Хромченко В.Г., Иванов Г.В., Хромченкова Е.В. Определение потерь тепла в тепловых сетях. *Новости теплоснабжения*. 2006; (6): 39–43.
13. Карелин А.О., Ломтев А.Ю., Мозжухина Н.А., Еремин Г.Б., Никонов В.А. Методические проблемы мониторинга мелкодисперсных частиц в атмосферном воздухе населённых мест. *Гигиена и санитария*. 2016; 95(10): 985–8. <https://doi.org/10.1882/0016-9900-2016-10-985-988>
14. Толстова Ю.И., Овчинников А.А. Загрязнение воздушного бассейна городов выбросами источников теплоснабжения. В кн.: *Проблемы безопасности строительных критических инфраструктур SAFETY2020*. Екатеринбург; 2020.
15. Пашенцев А.И., Пашенцева Л.В. Последствия децентрализации городских систем теплоснабжения Крыма. В кн.: *Материалы международной научно-практической конференции «Наука сегодня: вызовы, решения»*. Вологда; 2016: 17–9.

References

1. Sabirova Z.F., Budarina O.V., Vinokurov M.V., Fattakhova N.F. Methodical questions of the study of the influence of air pollution on the population's health. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2017; 96(10): 987–9. (in Russian)
2. Karelin A.O., Lomtev A.Yu., Volkodaeva M.V., Eremin G.B. The improvement of approaches to the assessment of effects of the anthropogenic air pollution on the population in order to management the risk for health. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(1): 82–8. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2019-98-1-82-86> (in Russian)
3. Popova A.Yu., Zaytseva N.V., May I.V. Population health as a target function and criterion for assessing efficiency of activities performed within “pure air” federal project. *Analiz riska zdorov'yu*. 2019; (4): 4–13. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.4.01> (in Russian)
4. Zaytseva N.V., Zhdanova-Zaplesvichko I.G., Zemlyanova M.A., Perezhogin A.N., Savinykh D.F. Experience in organizing and conducting epidemiological studies to detect and prove the causal relationship between ambient air quality and health disorders in the population of industrially contaminated sites. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya – ZNiSO*. 2021; (1): 4–15. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2021-334-1-4-15> (in Russian)
5. Zaytseva N.V., May I.V. Main results, prospects of application and improvement of the health risk assessment of the population of siberian cities – participants of the “clean air” project (Bratsk, Norilsk, Krasnoyarsk, Chita). *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100(5): 519–27. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-5-519-527> (in Russian)
6. Volkodaeva M.V., Levkin A.V. Using the results of summary calculations to improve the quality systems for monitoring atmospheric air in cities. *Uchenye zapiski rossiyского gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta*. 2012; (28): 27–32. (in Russian)
7. *The state of air pollution in cities in Russia for 2020: an annual collection*. Moscow: Rosgidromet; 2021. (in Russian)
8. Karelin A.O., Lomtev A.Yu., Fridman K.B., Eremin G.B., Pan'kin A.V. Identification of emission sources of pollutants causing complaints of unpleasant odours. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(6): 601–7. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-6-601-607> (in Russian)
9. Volkodaeva M.V., Kanchan Ya.S., Levkin A.V., Lomtev A.Yu. Use of the results of summary calculations when emissions rationing. *Ekologiya proizvodstva*. 2018; (3): 62–7. (in Russian)
10. Kuz'min S.V., Avaliani S.L., Dodina N.S., Shashina T.A., Kislitsin V.A., Sinitsyna O.O. The practice of applying health risk assessment in the federal project “clean air” in the participating cities (Cherepovets, Lipetsk, Omsk, Novokuznetsk): problems and prospects. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100(9): 890–6. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-9-890-896> (in Russian)
11. UNECE. Residential heating with wood and coal: health impacts and policy options in Europe and North America. ECE/EB.AIR/2014/6; 2014. (in Russian)
12. Khromchenkov V.G., Ivanov G.V., Khromchenkova E.V. Determination of heat losses in heat networks. *News of heat supply. Novosti teplosnabzheniya*. 2006; (6): 39–43. (in Russian)
13. Karelin A.O., Lomtev A.Yu., Mozhukhina N.A., Eremin G.B., Nikonov V.A. Methodical problems of monitoring of fine particulate matters in atmospheric air of residential areas. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2016; 95(10): 985–8. <https://doi.org/10.1882/0016-9900-2016-10-985-988> (in Russian)
14. Tolstova Yu.I., Ovchinnikov A.A. Pollution of the air basin of cities by emissions of heat supply sources. In: *Safety Problems of Critical Infrastructure Construction SAFETY 2020 [Problemy bezopasnosti stroitel'nykh kritichnykh infrastruktur SAFETY2020]*. Ekaterinburg; 2020. (in Russian)
15. Pashentsev A.I., Pashentseva L.V. Consequences of decentralization of urban heat supply systems of the Crimea. In: *Materials of the International Scientific and Practical Conference «Science Today: Challenges, Solutions» [Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Nauka segodnya: vyzovy, resheniya»]*. Vologda; 2016: 17–9. (in Russian)