

© ЕФИМОВА Н.В., РУКАВИШНИКОВ В.С., 2022

Читать
онлайн
Read
online

Ефимова Н.В., Рукавишников В.С.

Оценка загрязнения атмосферного воздуха г. Братска на основе анализа многолетних наблюдений

ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», 665826, Ангарск, Россия

Введение. Проблема мониторинга качества атмосферного воздуха и риска здоровью сохраняет своё значение.

Цель работы — изучить многолетнюю динамику загрязнения атмосферного воздуха в г. Братске для усовершенствования системы мониторинга и предупреждения воздействия на население.

Материалы и методы. Изучена динамика валовых выбросов и интегрального показателя загрязнения атмосферы (*P*) за 1984–2018 гг. Использованы данные социально-гигиенического мониторинга и Братского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Результаты. Валовые выбросы сократились в 2 раза, минимальный уровень наблюдался в 1995–2005 гг. Динамика *P* соответствовала динамике валовых выбросов ($r_{xy} = 0,76$; $p = 0,000$). Основной вклад в величину *P* вносили концентрации 3,4-бенз(а)пирена, сероуглерода. Отмечено, что содержание основных примесей, специфичных для промышленных предприятий города, снижалось в период до 2005 г., стабилизировалось в 2005–2018 гг. и вновь снижалось в 2019–2021 гг. В период 2015–2018 гг. было зарегистрировано резкое увеличение загрязнения 3,4-бенз(а)пиреном. Население города подвергалось риску нарушения респираторной, иммунной, костной, центральной нервной систем и формирования системной патологии и дополнительных случаев смерти.

Ограничения исследования. Валовые выбросы оценивались по данным статистических отчётов, имеющих определённые погрешности; изменялись программы наблюдения за концентрациями химических веществ, регистрируемых на различных постах наблюдения и в разные годы.

Заключение. В связи с метеорологическими условиями для рассеивания и градостроительными особенностями в г. Братске можно выделить несколько районов, отличающихся по уровню загрязнения в 2–3 раза. Наиболее неблагоприятным является Центральный район, где сохраняется высокое загрязнение веществами, специфичными для основных предприятий и автотранспорта. Обобщённый в настоящей работе опыт может быть полезен при реализации и оценке эффективности федерального проекта «Чистый воздух» национального проекта «Экология».

Ключевые слова: загрязнение воздуха; выбросы; долгосрочные наблюдения; риск для здоровья

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требовало заключения этического комитета.

Для цитирования: Ефимова Н.В., Рукавишников В.С. Оценка загрязнения атмосферного воздуха г. Братска на основе анализа многолетних наблюдений. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(9): 998–1003. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-9-998-1003> <https://www.elibrary.ru/aa0ibc>

Для корреспонденции: Ефимова Наталья Васильевна, доктор мед. наук, профессор, вед. науч. сотр. лаб. эколого-гигиенических исследований ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», 665826, Ангарск. E-mail: medecolab@inbox.ru

Участие авторов: Ефимова Н.В. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, статистическая обработка данных, анализ и интерпретация данных, написание текста, редактирование, ответственность за целостность всех частей; Рукавишников В.С. — концепция и дизайн исследования, редактирование.

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

Финансирование. Исследование выполнено в рамках государственного задания ФГБНУ ВСИМЭИ.

Поступила: 17.05.2022 / Принята к печати: 04.08.2022 / Опубликована: 30.09.2022

Natalia V. Efimova, Viktor S. Rukavishnikov

Assessment of air pollution based on the analysis of long-term observations in the city of Bratsk

East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665826, Russian Federation

Introduction. The problem of monitoring air quality and health risk remains important.

The aim is to study the long-term dynamics of air pollution in Bratsk in order to improve the monitoring system and prevent impact on the population.

Materials and methods. The dynamics of emissions and the integral indicator of air pollution “*P*” in Bratsk for 1984–2018 was studied.

Results. Emissions decreased by 2 times in 1984–2018, the minimum level was observed in 1995–2005. The trend in “*P*” is associated with the emissions ($r_{xy} = 0.76$, $p = 0.000$). The concentrations of 3,4benz (a) pyrene, carbon disulfide made main contribution to the “*P*” value. An increase in the content of 3,4-benz(a)pyrene has been recorded since 2015. The city population is at risk for respiratory, immune, bone, and central nervous system disorders; the formation of systemic pathology and additional deaths.

Limitations. Gross emissions were estimated according to statistical reports with certain errors, monitoring programs for the concentrations of chemicals recorded at various observation posts and changed in different years.

Conclusion. In Bratsk, several districts can be distinguished, differing in the level of pollution by 2–3 times, due to meteorological conditions for dispersion and urban planning features. The presented experience can be useful in the implementation and evaluation of the effectiveness of the national project “Ecology”.

Keywords: air pollution; emission; long-term observations; health risk

Compliance with ethical standards. The study did not require an ethics committee opinion.

For citation: Efimova N.V., Rukavishnikov Assessment of air pollution based on the analysis of long-term observations in the city of Bratsk. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(9): 998–1003. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-9-998-1003> <https://www.elibrary.ru/aa0ibc> (In Russian)

For correspondence: Natalia V. Efimova, MD, PhD, DSc., Professor, a leading researcher, Laboratory of environmental and hygienic research, Angarsk, 665826, Russian Federation. E-mail: medecolab@inbox.ru

Information about authors: Efimova N.V., <https://orcid.org/0000-0001-7218-2147> Rukavishnikov V.S., <https://orcid.org/0000-0003-2536-1550>

Contribution: Efimova N.V. — the concept and design of the study, collection and processing of material, statistical processing, writing a text; Rukavishnikov V.S. — the concept and design of the study, editing. 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: May 17, 2022 / Accepted: August 04, 2022 / Published: August 30, 2022

Введение

Проблема формирования информативного мониторинга за качеством среды обитания в целом и атмосферного воздуха в частности сохраняется своё значение более полувека [1–4]. Сеть постов наблюдения (ПНЗ) гидрометеорологической службы, созданная с учётом международной системы наблюдения и предусматривающая четырёхкратный отбор разовых проб воздуха в сутки, в 90-х годах прошлого века была частично разрушена. В большинстве ПНЗ перешли на трёхкратный контроль за содержанием примесей, что не отвечает задачам гигиенической оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха населённых мест. В рамках социально-гигиенического мониторинга (СГМ) на постах наблюдения центров гигиены и эпидемиологии также не удалось организовать полноценную систему мониторинга загрязнителей в воздушном бассейне городов. В то же время многими специалистами как в России [5, 6], так и в других странах [7, 8] именно атмосферный воздух считается ведущим маршрутом воздействия вредных химических веществ на население. В национальном проекте «Экология» федеральный проект «Чистый воздух» является одним из важнейших; в число горячих точек, требующих срочного решения проблемы загрязнения атмосферного воздуха, наряду с Череповцом, Магнитогорском, Красноярском и другими городами вошёл и Братск.

Братск — ведущий промышленный центр Восточной Сибири, на его территории размещено более 80 предприятий. Основная роль в структуре промышленности города принадлежит электроэнергетике, лесной, деревообрабатывающей и целлюлозной промышленности, а также цветной металлургии (производству алюминия). Географическое расположение Братска имеет свои особенности: три территориальных округа находятся на берегах Братского водохранилища на значительном расстоянии друг от друга. Самый крупный округ — Центральный (140,8 тыс. населения) — находится на левом берегу в 2 км от промплощадок лесопромышленного комплекса, теплоэлектроцентрали и в 8 км от алюминиевого завода. На расстоянии 20–25 км к северо-востоку расположен Падунский округ (численность населения 51,29 тыс. человек), от которого в непосредственной близости размещена крупная ТЭЦ. Правобережный округ (численность — 36,25 тыс. человек) удалён от основных градообразующих предприятий на 40 км, но непосредственно к его селитебной зоне прилегает ООО «Металлургия». Указанные особенности не позволяют рекомендовать единые для всего города мероприятия по минимизации связанного с загрязнением окружающей среды риска для здоровья населения.

Население Братска подвергается высокой комплексной нагрузке [9]. Более 30 лет техногенное воздействие на селитебную зону города и население оценивалось как высокое и очень высокое. Для сокращения загрязнения окружающей природной среды в конце XX века разработана и принята федеральная целевая программа «Неотложные меры по улучшению состояния окружающей среды, санитарно-эпидемиологической обстановки и здоровья населения г. Братска Иркутской области» («Экология Братска», 1994–2001 гг.). В программу были включены основные пути экологической и социальной реабилитации территории и оздоровления чувствительных групп населения [10]. В основу выбора неотложных мер по улучшению состояния окружающей среды в г. Братске были положены результаты изучения качества природной среды, степени деградации биогеоценозов в зоне влияния промышленных объектов, показатели содержания вредных примесей в атмосферном воздухе, почве, воде водоёмов и питьевой воде. Один из основных блоков программы базировался на данных оценки воздействия факторов среды обитания на здоровье жителей с учётом специфики социально-экономических условий, а также места города Братска в экономике Иркутской области и Российской Федерации в целом.

Цель исследования — изучить многолетнюю динамику загрязнения атмосферного воздуха в г. Братске для усовершенствования системы мониторинга и предупреждения воздействия на население.

Материалы и методы

Анализ динамики за 1984–2021 гг. валовых выбросов в воздушный бассейн города от стационарных источников проведён на основании данных формы федерального статистического наблюдения № 2-ТП (воздух), от передвижных — по материалам государственных докладов о состоянии окружающей среды в Иркутской области. Мониторинг качества атмосферного воздуха осуществляется на пяти стационарных постах Братского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ЦГМС) и двух маршрутных постах ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Иркутской области» по 22 загрязняющим веществам, в том числе по 6 веществам с доказанным для человека канцерогенным эффектом. В программу наблюдения включены следующие вещества: бенз(а)пирен, фтористые газообразные соединения, твёрдые фториды, взвешенные вещества, сероуглерод, сероводород, фенол, формальдегид, хлор, азота (IV) диоксид, азота оксид, серы диоксид, углерода оксид, свинец, хром, никель, марганец, медь. Для гигиенической оценки качества атмосферного воздуха использованы данные постов наблюдения (ПНЗ) ЦГМС по максимальным из разовых наблюдений, среднемесячным и среднегодовым концентрациям за период 1984–2021 гг. Среднее содержание приоритетных вредных веществ оценивали по нескольким периодам, ориентируясь на сроки активного внедрения природоохранных мероприятий на основных предприятиях г. Братска (1995–1999, 2005–2010, 2019–2021 гг. — период реализации мероприятий федеральной программы «Чистый воздух»). Количество замеров на территории города по отдельным веществам сильно колебалось: от 1398 разовых проб формальдегида до 4632 проб диоксида азота в год. Число замеров 3,4-бенз(а)пирена составляло 36 среднемесячных проб в год. Данное количество наблюдений позволило использовать для анализа параметрические методы стандартной вариационной и сравнительной статистики, реализованные с помощью пакета прикладных программ Statistica v. 10.0. В табл. 1 представлены результаты в виде среднего арифметического значения и ошибки среднего ($M \pm m$). Сравнение средних проведено по *t*-критерию Стьюдента для двух несвязанных выборок, регрессионно-корреляционного анализа (рассчитаны коэффициенты Пирсона — r_{xy}). Для интегральной оценки контаминации использован показатель загрязнения атмосферного воздуха *P*, базирующийся на теории неполной суммы вредных эффектов при одновременном содержании нескольких химических примесей в воздушном бассейне [1, 11]. Крайность ПДК рассчитана относительно нормативов, представленных в действующих СанПиН¹. Оценка риска для здоровья населения проведена по общепринятой методологии с расчётом индивидуального и популяционного канцерогенного риска (ICR, PCR) и коэффициентов и индексов опасности (HQ, HI) [12].

Результаты

В динамике суммарных валовых выбросов в атмосферный воздух г. Братска отмечено два периода: до 2004 г. наблюдалось снижение выбросов в 2,2 раза по сравнению с 1984 г., а в последующие годы отмечен рост в 1,5 раза и стабилизация показателя (см. рисунок). Следует указать, что динамика вклада стационарных и передвижных источников в суммарные валовые выбросы в указанные периоды

¹ СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 г. № 2. Зарегистрированы в Минюсте 29.01.2021 г., № 62296.

Таблица 1/ Table 1

Загрязнение атмосферного воздуха г. Братска химическими примесями, специфичными для градообразующих предприятий, по периодам (годы)

Air pollution in Bratsk with chemical impurities specific to city-forming enterprises by periods (years)

Загрязняющие вещества Pollutants	Кратность среднесуточной ПДК (среднее значение ± ошибка среднего) The multiplicity of the average daily maximum permissible concentration (mean ± standard error of mean)							
	Год / Years							
	1984–1989	1990–1994	1995–1999	2000–2004	2005–2009	2010–2014	2015–2018	2019–2021
Сероуглерод / Carbon disulphide	6.2 ± 0.1	6.0 ± 0.2	3.4 ± 0.1	2.6 ± 0.3	4.4 ± 0.1	3.3 ± 0.1	4.0 ± 0.1	1.6 ± 0.2
Диоксид азота / Nitrogen dioxide	3.6 ± 0.2	3.3 ± 0.2	1.3 ± 0.3	1.4 ± 0.1	2.0 ± 0.2	0.9 ± 0.1	1.1 ± 0.2	0.6 ± 0.04
Фтористый водород / Hydrogen fluoride	1.4 ± 0.2	1.2 ± 0.1	1.0 ± 0.1	0.9 ± 0.1	1.3 ± 0.1	1.0 ± 0.2	1.0 ± 0.1	0.8 ± 0.03
Взвешенные вещества / Total particles matter	0.7 ± 0.2	0.7 ± 0.2	0.7 ± 0.2	0.6 ± 0.1	0.8 ± 0.1	1.3 ± 0.2	1.3 ± 0.2	1.4 ± 0.06
3,4-бенз(а)пирен / 3,4-Benz(a)pyrene	10.1 ± 1.0	13.7 ± 1.1	5.4 ± 0.8	3.4 ± 0.9	3.8 ± 0.7	5.1 ± 2.1	17.5 ± 2.3	5.8 ± 1.0
Метантиол* / Methanthiol*	0.02 ± 0.003	0.02 ± 0.002	0.01 ± 0.004	0.01 ± 0.001	0.01 ± 0.002	0.01 ± 0.002	0.01 ± 0.001	0.01 ± 0.001

Примечание. * – сравнение проведено с максимальной разовой ПДК (0,006 мг/м³).Note: * – comparison was made with the maximum one-time MPC (0.006 mg/m³).

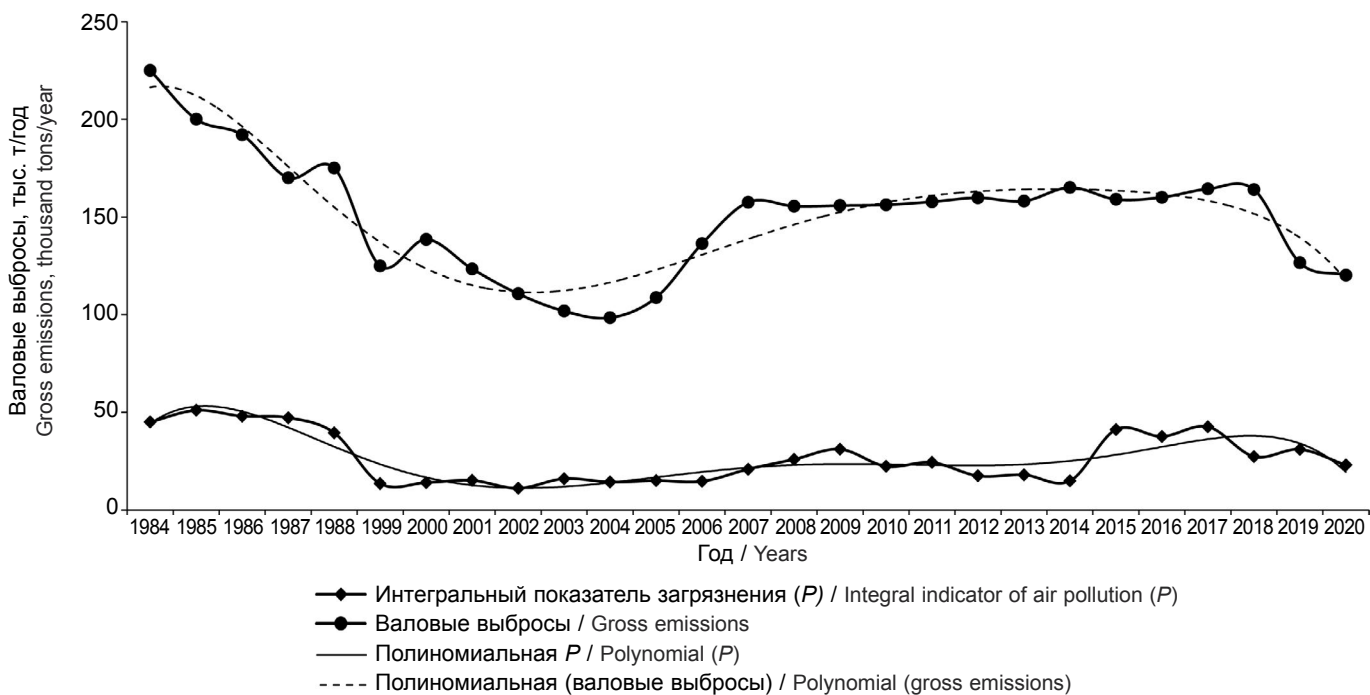
различна: выбросы промышленных предприятий снижались в первый период и после умеренного роста сохраняются на уровне 120 тыс. тонн в год, тогда как выбросы автотранспорта неуклонно увеличиваются, в первую очередь за счёт легковых автомобилей. Долевой вклад выбросов автотранспорта в первый период находился на уровне 7–11%, в настоящее время достигает 25–33%.

Интегральный показатель загрязнения атмосферного воздуха в изучаемый период значительно колебался (от 13,8 до 52 усл. ед.). Динамика P в целом соответствовала динамике валовых выбросов, коэффициент корреляции Пирсона свидетельствует о сильной прямой зависимости ($r_{xy} = 0,76$; $p = 0,000$). Вместе с тем следует отметить, что основной вклад (более 95%) в величину P вносили концентрации 3,4-бенз(а)пирена, вещества 1-го класса опасности и сероуглерода (2-й класс опасности). В период до реализации программы «Экология Братска» был достаточно велик долевой вклад фторсодержащих соединений (2,5–4%).

При анализе данных ЦГМС за 1984–1988 гг. отмечено постоянное превышение среднегодового уровня по сероуглероду в 4–15 раз, фтористому водороду – в 1–4 раза, оксиду азота – в 2,5–10 раз, бенз(а)пирену – в 11–12 раз. В 16% разовых проб наблюдалось превышение норматива сероводорода (до 8 раз), в 58% проб – фтороводорода (до 52 раз), в 4–29% проб – сероуглерода (до 20,5 раза), в 3–20% проб – диоксида азота (в 3,6 раза), бенз(а)пирена – в 88 раз. За год в среднем отмечалось 14 случаев экстремально высокого загрязнения и 234 случая высокого загрязнения воздуха бенз(а)пиреном, диоксидом азота, оксидом углерода и сероводородом.

Остановимся на динамике содержания в воздушном бассейне города примесей, специфичных для градообразующих предприятий. В табл. 1 представлены уровни превышения среднесуточных ПДК в среднем по городу.

В период 1995–1999 гг. по сравнению с предшествующим десятилетием сократилось фактическое содержание в ат-



Динамика суммарных валовых выбросов и интегрального показателя загрязнения атмосферного воздуха г. Братска.

Trend in total emissions and integral indicator of air pollution in Bratsk.

Неканцерогенный риск для здоровья населения г. Братска (по системам организма)**Non-carcinogenic risk to the health of the population of Bratsk (body systems)**

Система организма Body systems	Индексы опасности по периодам Hazard Indices by periods		
	1995–2004	2010–2018	2019–2021
Смертность / Mortality	1.3	2.1	2.7
Патология органов дыхания / Pathology of the respiratory system	9.3	8.0	6.8
Патология органов кроветворения / Pathology of the blood	2.2	1.6	0.8
Нарушение иммунитета / Immunity disorder	8.2	8.0	8.0
Нарушение развития организма / Disorder of the development of the organism	4.6	5.3	5.0
Патология центральной нервной системы / Pathology of the central nervous system	1.2	0.9	0.3
Патология зубов / Tooth pathology	1.7	1.3	0.6
Патология костной системы / Bone pathology	1.7	1.3	0.6

мосферном воздухе сероуглерода (в 1,8–2,2 раза; $p = 0,000$), 3,4-бенз(а)пирена (в 1,9–2,5 раза; $p = 0,000$), диоксида азота (в 2,5 раза; $p = 0,000$). Концентрации специфического для производства алюминия фтористого водорода также снизились в 1,2–1,4 раза, однако различие не имело статистической значимости ($p = 0,16$). Приоритетными загрязнителями по-прежнему остались 3,4-бенз(а)пирен (92%), диоксид азота (16%) и сероуглерод (15%). Однако через пять лет после окончания финансирования программы (2005–2009 гг.) отмечен рост среднегодовых концентраций формальдегида в 3,7 раза, сероводорода – в 1,5 раза, оксида углерода – в 5 раз, что привело к увеличению индекса загрязнения атмосферы (ИЗА) до 31,2. Приоритетные примеси по-прежнему превышали допустимые нормы для 3,4-бенз(а)пирена (в 3,8 раза), сероуглерода (в 4,4 раза), диоксида азота (в 2,2 раза), оксида углерода (в 1,9 раза). Максимальная разовая концентрация сероводорода превышала соответствующую ПДК в 5,6 раза.

В сравнении с периодом 1990–1994 гг. статистически значимым оставалось различие по содержанию сероуглерода ($p = 0,000$), диоксида азота ($p = 0,003$), 3,4-бенз(а)пирена ($p = 0,000$). За периоды с 2005–2009 по 2010–2014 гг. произошёл значительный рост содержания взвешенных частиц ($p = 0,008$) при сокращении концентраций сероуглерода ($p = 0,043$), фтористого водорода ($p = 0,038$) и диоксида азота ($p = 0,000$). В период 2015–2018 гг. на территории г. Братска в 3,4 раза увеличилось загрязнение 3,4-бенз(а)пиреном (в среднем содержание составило 17,5 ПДКсс) и в 1,3 раза – сероуглеродом (4 ПДКсс).

В период реализации федерального проекта «Чистый воздух» отмечено снижение загрязнения приземного слоя атмосферы по некоторым ингредиентам. Содержание 3,4-бенз(а)пирена составило 5,8 ПДК, что в 3 раза ниже, чем в период 2015–2018 гг. ($p = 0,000$), и в 1,7 ниже по сравнению с 1984–1989 гг., рассматриваемыми как начальный период наблюдения ($p = 0,003$). Концентрации сероуглерода сократились в 2,5 раза ($p = 0,000$) и 6,7 раза ($p = 0,000$) соответственно; NO_2 – в 1,8 раза ($p = 0,016$) и 6 раз ($p = 0,000$). Следует отметить, что содержание взвешенных веществ в атмосферном воздухе в 2019–2021 гг. осталось на уровне 2015–2018 гг. (1,4–1,3 ПДК; $p = 0,633$), что выше, чем в 1984–1989 гг., в 2 раза ($p = 0,001$).

При оценке влияния качества атмосферного воздуха на здоровье населения установлено, что уровни индивидуального канцерогенного риска, связанного с загрязнением атмосферного воздуха, в период 1995–2003 гг. колебались от 5,7E–05 до 2,16E–04. В 2015–2018 гг. в связи с увеличением концентраций 3,4-бенз(а)пирена показатель вырос до 2,0E–04. Несмотря на некоторое снижение загрязнения в последний период, уровни индивидуального канцерогенного риска находились в близких пределах (от 5,5E–06 до 2,4E–04) и являлись неприемлемыми для населения. Высо-

кий канцерогенный риск обусловлен содержанием в воздухе формальдегида (от 1,6E–04 до 2,4E–04), 3,4-бенз(а)пирена (от 3,1E–06 до 1,4E–05), бензола (от 5,4E–06 до 6,2E–06). Воздействие свинца, никеля и хрома обеспечивает уровни канцерогенного риска, соответствующие верхней границе приемлемого риска. Популяционный риск в 2018 г. составлял от 2,6 до 41,4 дополнительного случая развития онкологических заболеваний.

Индексы неканцерогенной опасности на протяжении всего времени наблюдения превышали единицу для основных органов и систем (табл. 2).

Основной вклад в высокий уровень неканцерогенной опасности вносили формальдегид (HQ 1,3–2), бенз(а)пирен (HQ 2,8–12,7), медь (HQ 1,5–2,5) и взвешенные вещества (HQ 2–3,6). Основными системами-мишенями являлись дыхательная и иммунная, выявлен риск нарушений развития организма. Кроме того, зафиксированы высокие уровни риска смертности населения. Следует отметить, что в последнее десятилетие снижение содержания примесей в воздушном бассейне привело к уменьшению вероятности вредных эффектов среди населения. Индекс опасности после внедрения комплекса природоохранных мероприятий снизился по риску нарушений развития организма в 3,3 раза, патологии костной системы и зубов – на 41,6%, ЦНС – на 33,3% и органов дыхания – на 16,2%. Однако отмечено увеличение риска смертности в 1,6 раза, стабильным оставался уровень HQ по риску патологии иммунной системы.

Обсуждение

Следует отметить, что 3,4-бенз(а)пирен является специфическим компонентом для выбросов производства алюминия, его концентрации обнаруживаются в воздухе рабочей зоны цехов алюминиевых заводов [13, 14], в снеговом покрове на территориях размещения указанных предприятий [15, 16]. Так, на территории г. Шелехова суммарное содержание бенз(а)пирена во всех точках превышает фоновое значение в среднем в 10,6–29,4 раза [15]. Экстремально высокие уровни загрязнения 3,4-бенз(а)пиреном отмечены в селитебной зоне Центрального района г. Братска, удалённой от источников алюминиевого завода на 10–12 км. В 2018 г. максимальная среднемесячная концентрация 3,4-бенз(а)пирена составляла 35,6 ПДК, а в 2019–2021 гг. – 16,3 ПДК. Однако в г. Братске источники производства алюминия не являются единственными, об этом свидетельствует отсутствие прямой статистически значимой связи содержания 3,4-бенз(а)пирена с концентрациями специфических для данного производства фторсодержащих соединений ($r_{xy} = 0,23$; $p = 0,07$) и наличие такой зависимости с содержанием CO ($r_{xy} = 0,54$). Вместе с тем выявлена ассоциированность роста концентрации

3,4-бенз(а)пирена с увеличением выбросов автотранспорта ($r_{xy} = 0,54$; $p = 0,0032$), что может быть одной из причин загрязнения в селитебной зоне г. Братска. На возрастающую роль транспортных потоков в загрязнении воздушного бассейна населённых мест указывают ряд исследователей [6, 17, 18]. Так, В.А. Никифоровой и соавт. в ходе натуральных и модельных исследований, проведённых в г. Братске, показано превышение ПДК_{мр} по оксиду углерода в 3–4 раза на основных магистралях центральной части города [19].

На территориях размещения лесоперерабатывающих комплексов можно отнести к социально значимым загрязнениям метантиол (метилмеркаптан), обладающий сильным неприятным запахом [20, 21]. В настоящее время в соответствии с СанПин 1.2.3685–21 ПДК метантиола составляет 0,006 мг/м³, что не обеспечивает отсутствия запаха даже при соблюдении гигиенических требований и приводит к жалобам населения. В связи с этим считаем целесообразным рассмотреть динамику концентраций метантиола в сравнении с гигиеническими нормативами, установленными по одорометрическому лимитирующему признаку² (ПДК₉₈ = 0,000009 мг/м³). В 1984–1989 гг. содержание метантиола в 4–11 раз превышало ПДК₉₈, при этом 77–100% проб не соответствовали нормативам (максимальное превышение достигало 71 ПДК₉₈). В 1995–2000 гг. по сравнению с предшествующим десятилетием фактическое содержание в атмосферном воздухе метантиола сократилось в 2–3 раза, однако превышение ПДК₉₈ по-прежнему регистрировалось в 94% разовых проб. В последний период наблюдения уровни содержания метантиола находились в пределах 0,000046–0,000179 мг/м³, в среднем 0,000062 мг/м³, что составило 6,9 ПДК₉₈ (или 0,01 ПДК ныне действующих СанПиН).

Характер подстилающей поверхности, орографические особенности, метеоусловия г. Братска существенно снижают самоочищающую способность воздушного бассейна [4]. По данным многолетних наблюдений, для Братска характерна высокая повторяемость устойчивых и очень устойчивых классов погоды, которая в среднем за год составляет 31% в Падунском районе и 27% в Центральном районе города. Особенно велика вероятность неблагоприятных метеоусловий в зимний период (40–32%). Во всех районах города в 46–51% случаев отмечается штитовое состояние атмосферы, когда процессы рассеивания ослаблены. Процессы самоочищения преобладают в октябре и ноябре (МПА > 1), а в остальные месяцы преобладают явления, способствующие накоплению химических примесей. Метеопотенциал загрязнения атмосферы составляет 3,6–3,7, в связи с чем Братск относится к зоне с очень высоким потенциалом загрязнения.

Концентрация предприятий-гигантов в Центральном районе города и значительная разобщённость селитебных территорий (до 30 км) привели к неравномерности загрязнения воздушного бассейна. Наиболее неблагоприятная обстановка регистрировалась в Центральном районе, где интегральный показатель в среднем составлял 28,9 (в Падунском – 16,5). В соответствии с критериями гигиенической оценки, за исследуемый период загрязнение воздушного бассейна (по 9 веществам) Падунского района оценивалось как сильное, а Центрального – как чрезвычайное. Это позволяло территории города в целом также относить к зоне чрезвычайной экологической ситуации. Содержание практически всех химических веществ, контролируемых в селитебной зоне, в Центральном округе было выше, чем в Падунском. Однако в течение последних 10 лет в воздушном бассейне Центрального округа сократилось фактическое содержание некоторых примесей: диоксида азота (в 3–4 раза), сероуглерода (в 4,1 раза), формальдегида (в 1,8 раза).

² Гигиенические нормативы ГН 2.1.6.695–98 «2.1.6. Атмосферный воздух и воздух закрытых помещений, санитарная охрана воздуха. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населённых мест». Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 29 апреля 1998 г., № 14.

Наименее экспонированной является территория Падунского округа, на которой тем не менее выше допустимого уровня (НИ = 1) индекс опасности развития патологии органов дыхания, системных нарушений и смертности. Жители Правобережного округа подвергаются неблагоприятному ингаляционному воздействию, которое определяет высокий риск патологии органов дыхания, кровотока, развития системных нарушений и повышенной смертности. Аналогичная ситуация складывается и в Центральном округе, население которого проживает в условиях экспозиции токсикантами, определяющими риск нарушений со стороны ряда органов и систем: респираторной, иммунной, костной, центральной нервной. Кроме того, имеется вероятность формирования системной патологии и дополнительных случаев смерти.

В период реализации федерального проекта «Экология» в трёх городах отмечено снижение загрязнения атмосферного воздуха по интегральному показателю (ИЗА). В 2020 г. по сравнению с 2019 г. уровень ИЗА в Братске и Новокузнецке снизился с очень высокого до высокого, в Магнитогорске – с высокого до повышенного [22]. По данным, приведённым в ежегоднике «Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2020 г.», в воздушном бассейне Братска снизилась на 40% среднегодовая концентрация 3,4-бенз(а)пирена, вносящего наибольший вклад в формирование уровня загрязнения воздуха, что особенно выражено в январе – феврале. В первую очередь это может быть связано с относительно тёплой зимой: в феврале температура воздуха была выше на 10 °С по сравнению с аналогичным периодом 2019 г., что привело к меньшей нагрузке на отопительную систему города. Несмотря на общее снижение уровня загрязнения атмосферного воздуха, по данным поста ЦГМС, расположенного в Центральном районе г. Братска, где проживает половина населения города, ситуация остаётся очень неблагоприятной: уровень загрязнения оценивается по комплексному индексу ИЗА как очень высокий [22].

Негативное воздействие на здоровье человека загрязнений, поступающих в атмосферный воздух из промышленных источников, показано в ряде исследований. Увеличивается заболеваемость населения, в первую очередь детского, проживающего в зонах влияния лесохимических предприятий [10, 20, 21], предприятий по производству алюминия [23, 24]. Но особенно возрастает риск для здоровья жителей городов, в которых расположены несколько крупных предприятий и автотранспортных магистралей [3, 5, 25].

Представленные оценки имеют некоторые неопределённости: валовые выбросы оценивались по данным статистических отчётов, имеющих определённые погрешности, а программы наблюдения за концентрациями химических веществ, регистрируемых на различных ПНЗ и в разные годы, сильно изменялись. Всё вышеуказанное вносит ограничения в сравнительную оценку уровня загрязнения и риска для здоровья населения отдельных районов города в различные годы. Однако проведённое исследование базируется на анализе многолетних данных, в том числе и за период реализации программы «Экология г. Братска», что можно рассматривать как натуральный эксперимент, позволяющий оценивать результаты внедрения природоохранных мероприятий.

Заключение

В связи с градостроительными особенностями в Братске можно выделить несколько районов, отличающихся по уровню загрязнения. Наиболее неблагоприятным является Центральный, расположенный в 2–9 км от промплощадок крупных предприятий. В период до 2005 г. отмечалось снижение концентраций в приземном слое атмосферного воздуха основных примесей, источником которых служат промышленные предприятия города, стабилизация наблюдалась в 2005–2018 гг. Установлено, что в период с 2015 г. на селитебной территории Центрального района регистрируется резкое увеличение загрязнения 3,4-бенз(а)пиреном, частично связанное с ростом выбросов автомобильного транспорта.

Представленный опыт может быть полезен при реализации и оценке эффективности федеральной программы «Чистый воздух» национального проекта «Экология». При оценке эффективности программы целесообразно провести анализ

динамики содержания загрязнений в атмосферном воздухе с учётом вклада климатического фактора и сезонной зависимости объёмов выбросов предприятий теплоэнергетики и концентраций приоритетных веществ.

Литература

(п.п. 2, 3, 7, 8, 14, 18, 21, 25 см. References)

- Пинигин М.А. Теория и практика оценки комбинированного действия химического загрязнения атмосферного воздуха. *Гигиена и санитария*. 2001; 80(1): 9–14.
- Клюев Н.Н. Качество атмосферного воздуха российских городов в 1991–2016 гг. *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. 2019; (1): 14–23. <https://doi.org/10.31857/S2587-55662019114-23>
- Зайцева Н.В., Устинова О.Ю., Землянова М.А., Жданова-Заплесвичко И.Г., Лузещкий К.П., Маклакова О.А. и др. Роль химических факторов риска в развитии соматической патологии у населения сельтебных территорий алюминиевого и целлюлозно-бумажного производства. *Медицина труда и промышленная экология*. 2017; (6): 1–5.
- Макаров О.А., Зиминова Ф.Н., Ненахова Е.В. Загрязнение атмосферного воздуха территорий детских дошкольных учреждений компонентами выбросов автотранспорта и здоровье детского населения. *Гигиена и санитария*. 2016; 95(12): 1188–92. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-12-1188-1192>
- Безгодов И.В., Ефимова Н.В., Кузьмина М.В., Мылникова И.В. Ранжирование и оценка территорий Иркутской области по уровню комплексного антропогенного загрязнения. *Здоровье населения и среда обитания*. 2017; (2): 38–40. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2017-287-2-38-40>
- Ефимова Н.В., Маторова Н.И., Юшков Н.Н., Никифорова В.А., Перцева Т.Г. *Медико-экологические риски современного города*. Братск; 2008.
- РД 52.04.186–89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. М.; 1991.
- Р 2.1.10.1920–04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М.; 2004.
- Шаяхметов С.Ф., Мешакова Н.М., Лисецкая Л.Г., Меринов А.В., Журба О.М., Алексеенко А.Н. и др. Гигиенические аспекты условий
- труда в современном производстве алюминия. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(10): 899–904. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-10-899-904>
- Журба О.М., Алексеенко А.Н., Шаяхметов С.Ф., Меринов А.В. Исследования полициклических ароматических и нефтяных углеводородов в снеговом покрове на урбанизированной территории. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(10): 1037–42. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-10-1037-1042>
- Журавлева Н.В., Потокина Р.Р., Исмагилов З.Р., Хабибулина Е.Р. Загрязнение снегового покрова полициклическими ароматическими углеводородами и токсичными элементами на примере г. Новокузнецка. *Химия в интересах устойчивого развития*. 2014; 22(5): 445–54.
- Цаллагова Р.Б., Копытенкова О.И., Макоева Ф.К. Оценка риска здоровью населения при хроническом ингаляционном воздействии выбросов автомобильного транспорта. *Профилактическая и клиническая медицина*. 2021; (2): 15–21. https://doi.org/10.47843/2074-9120_2021_2_15
- Никифорова В.А., Сташок О.В., Мендифий А.И., Никифорова А.А. Экологические аспекты влияния автотранспорта на окружающую среду. *Системы. Методы. Технологии*. 2014; (4): 144–50.
- Ефимова Н.В., Журавлева А.Д., Пыжьянов А.И., Минько Л.А. Влияние аэровыбросов предприятий целлюлозно-бумажной промышленности на заболеваемость населения. *Гигиена и санитария*. 1992; 71(3): 65–6.
- Ежегодник «Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2020 г.». СПб.; 2021.
- Зайцева Н.В., Землянова М.А., Булатова Н.И., Кольдибекова Ю.В. Исследование и оценка нарушений протеомного профиля плазмы крови, обусловленных повышенной концентрацией фторид-иона в моче у детей. *Здоровье населения и среда обитания*. 2019; (7): 23–7. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2019-316-7-23-27>
- Ефимова Н.В., Дорогова В.Б., Журба О.М., Никифорова В.А. Оценка воздействия фтора на детское население Иркутской области. *Медицина труда и промышленная экология*. 2009; (1): 23–6.

References

- Pinigin M.A. Theory and practice of evaluating the combined effect of air chemical pollution. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2001; 80(1): 9–14.
- Katsoyiannis A., Birgul A., Ratola N., Cincinelli A., Sweetman A.J., Jones K.C. Can car air filters be useful as a sampling medium for air pollution monitoring purposes? *Environ. Int.* 2012; 48: 65–70. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2012.06.011>
- Han L., Zhou W., Pickett S.T., Li W., Qian Y. Multicontaminant air pollution in Chinese cities. *Bull. World Health Organ.* 2018; 96(4): 233–42E. <https://doi.org/10.2471/blt.17.195560>
- Klyuev N.N. The quality of atmospheric air of Russian cities in 1991–2016. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya geograficheskaya*. 2019; (1): 14–23. <https://doi.org/10.31857/S2587-55662019114-23> (in Russian)
- Zaytseva N.V., Ustinova O.Yu., Zemlyanova M.A., Zhdanova-Zaplesvichko I.G., Luzhetskii K.P., Maklakova O.A., et al. Role of chemical risk factors in somatic diseases development in inhabitants of populated area near aluminium and paper pulp production. *Meditina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2017; (6): 1–5. (in Russian)
- Makarov O.A., Zimina F.N., Nenakhova E.V. Ambient air pollution of territories of children preschool institutions by emissions of vehicle components and health of children population. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2016; 95(12): 1188–92. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-12-1188-1192> (in Russian)
- Baccarelli A.A., Hales N., Burnett R.T., Jerrett M., Mix C., Dokery D.W., et al. Particulate air pollution, exceptional aging, and rates of centenarians: A nationwide analysis of the United States, 1980–2010. *Environ. Health Perspect.* 2016; 124(11): 1744–50. <https://doi.org/10.1289/ehp197>
- HEI. *State of Global Air 2017: A Special Report on Global Exposure to Air Pollution and Its Disease Burden*. Boston, MA: Health Effects Institute; 2017.
- Bezgodov I.V., Efimova N.V., Kuzmina M.V., Mylnikova I.V. Ranking and assessment of Irkutsk region by level of complex anthropogenic pollution. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*. 2017; (2): 38–40. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2017-287-2-38-40> (in Russian)
- Efimova N.V., Matorova N.I., Yushkov N.N., Nikiforova V.A., Pertseva T.G. *Medical and Environmental Risks of a Modern City [Mediko-ekologicheskie riski sovremennogo goroda]*. Bratsk; 2008. (in Russian)
- RD 52.04.186–89. Air Pollution Control Guide. Moscow; 1991. (in Russian)
- R 2.1.10.1920–04. Human health risk assessment from environmental chemicals. Moscow; 2004. (in Russian)
- Shayakhmetov S.F., Meshchakova N.M., Lisetskaya L.G., Merinov A.V., Zhurba O.M., Alekseenko A.N., et al. Hygienic aspects of working conditions in the modern production of aluminum. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2018; 97(10): 899–904. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-10-899-904> (in Russian)
- Niu Q. Overview of the Relationship Between Aluminum Exposure and Health of Human Being. *Adv. Exp. Med. Biol.* 2018; 1091: 1–31. https://doi.org/10.1007/978-981-13-1370-7_1
- Zhurba O.M., Alekseenko A.N., Shayakhmetov S.F., Merinov A.V. Study of polycyclic aromatic and petroleum hydrocarbons in a snow cover in a urbanized territory. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(10): 1037–42. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-10-1037-1042> (in Russian)
- Zhuravleva N.V., Potokina R.R., Ismagilov Z.R., Khabibulina E.R. Pollution of snow cover with polycyclic aromatic hydrocarbons and toxic elements for Novokuznetsk as example. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya*. 2014; 22(5): 445–54. (in Russian)
- Tsallagova R.B., Kopytenkova O.I., Makoeva F.K. Health risk assessment of population under chronic inhalation exposure of automotive transport emissions. *Profilakticheskaya i klinicheskaya meditsina*. 2021; (2): 15–21. https://doi.org/10.47843/2074-9120_2021_2_15 (in Russian)
- Ariya P.A., Dastoor A., Nazarenko Y., Amyot M. Do snow and ice alter urban air quality? *Atmos. Environ.* 2018; 186: 266–8. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.05.028>
- Nikiforova V.A., Stashok O.V., Mendofiy A.I., Nikiforova A.A. Environmental aspects for influence of motor transport on the environment. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*. 2014; (4): 144–50. (in Russian)
- Efimova N.V., Zhuravleva A.D., Pyzh'yanov A.I., Min'ko L.A. Influence of aero emissions of pulp and paper industry enterprises on population morbidity. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 1992; 71(3): 65–6. (in Russian)
- Bhander G., Jozewicz W. Analysis of emission reduction strategies for power boilers in the US pulp and paper industry. *Energy Emiss. Control. Technol.* 2017; 5: 27–37. <https://doi.org/10.2147/eect.s139648>
- Yearbook «The State of Air Pollution in Cities in Russia for 2020». St. Petersburg; 2021. (in Russian)
- Zaytseva N.V., Zemlyanova M.A., Bulatova N.I., Koldibekova Yu.V. Analysis and evaluation of blood plasma proteomic profile violations due to the increased concentration of fluoride ion in children's urine. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*. 2019; (7): 23–7. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2019-316-7-23-27> (in Russian)
- Efimova N.V., Dorogova V.B., Zhurba O.M., Nikiforova V.A. Evaluating fluoride effects in children of Irkutsk area. *Meditina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2009; (1): 23–6. (in Russian)
- Brand A., McLean K.E., Henderson S.B., Fournier M., Liu L., Kosatsky T., et al. Respiratory hospital admissions in young children living near metal smelters, pulp mills and oil refineries in two Canadian provinces. *Environ. Int.* 2016; 94: 24–32. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.05.002>