

Загрязнение воздушной среды формальдегидом и оценка риска канцерогенных эффектов

© 2023. В. А. Седых¹, аспирант, м. н. с., С. А. Куролап¹, д. г. н., зав. кафедрой,
Л. Н. Беляева², к. г. н., доцент, Г. И. Мазуров³, д. г. н., профессор,
А. Т. Козлов⁴, д. б. н., профессор, В. П. Закусилов⁴, к. г. н., доцент,

¹Воронежский государственный университет,
394018, Россия, г. Воронеж, Университетская площадь, д. 1,

²Липецкий государственный педагогический университет
имени П. П. Семёнова-Тян-Шанского,
398020, Россия, г. Липецк, ул. Ленина, д. 42,

³Главная геофизическая обсерватория имени А. И. Воейкова,
194021, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Карбышева, д. 7,

⁴Военный учебно-научный центр военно-воздушных сил
«Военно-воздушная академия имени
профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина»,
394064, Россия, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, д. 54а,
e-mail: vladsedykh48@mail.ru, skurolap@mail.ru, geolspu@mail.ru,
nanmaz@rambler.ru, zakusilov04@yandex.ru

В статье представлены результаты исследований по оценке содержания формальдегида в атмосфере г. Липецка, связи концентраций с метеопараметрами и оценка канцерогенных рисков для населения. Выявлены закономерности годовой и суточной динамики поллютанта, пиковые значения которого приходятся на тёплый период года (май – сентябрь), а в суточном ходе на дневные и вечерние часы (13:00 и 19:00). Связь концентраций с метеопараметрами показывает явную тенденцию увеличения концентраций формальдегида с ростом температуры воздуха, а с повышением силы ветра и влажности воздуха концентрация, наоборот, снижается. Расчёт индивидуальных канцерогенных рисков для здоровья населения показал значение $6 \cdot 10^{-5}$, что соответствует предельно допустимому риску. Наиболее неблагоприятная ситуация складывается в Тракторном районе города (вблизи металлургического комбината) и на территориях, прилегающих к основным оживлённым перекрёсткам города (перекрёсток Кольцо трубного завода). При оценке популяционных рисков установлено, что присутствие канцерогена в атмосферном воздухе данных районов может провоцировать 5–6 дополнительных случаев злокачественных новообразований.

Ключевые слова: загрязнение воздуха, формальдегид, канцерогенные риски, метеопараметры, атмосферный воздух.

Formaldehyde air pollution and risk assessment of carcinogenic effects

© 2023. V. A. Sedykh¹ ORCID: 0000-0003-4071-2638, S. A. Kurolap¹ ORCID: 0000-0002-6169-8014,
L. N. Belyaeva² ORCID: 0000-0003-3566-7297, G. I. Mazurov³ ORCID: 0000-0002-8669-612X,
A. T. Kozlov⁴ ORCID: 0009-0002-1928-7059, V. P. Zakusilov⁴ ORCID: 0000-0003-4615-6636

¹Voronezh State University,

1, University Square, Voronezh, Russia, 394018,

²Lipetsk State Pedagogical University named after P. P. Semenov-Tyan-Shansky,
42, Lenina St., Lipetsk, Russia, 398020,

³The Voeikov Main Geophysical Observatory,

7, Karbysheva St., Saint Peterburg, Russia, 194021,

⁴Military Educational and Scientific Center

of the Air Force “N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin Air Force Academy”,
54a, Starykh Bolshevikov St., Voronezh, Russia, 394064,

e-mail: vladsedykh48@mail.ru, skurolap@mail.ru, geolspu@mail.ru,
nanmaz@rambler.ru, zakusilov04@yandex.ru

This article discusses the issues of air pollution with formaldehyde and the impact of this pollutant on the health of the population of the city of Lipetsk. The study revealed patterns of increase in the concentration of formaldehyde in the warm season (May–September). In the daily dynamics of concentrations, peak values occur during daytime and evening hours, which is associated with the cumulative effect of pollution and traffic congestion in the evening rush hour. The minimum values are recorded in the cold season and in the morning hours. The morning “rush hour” does not affect the concentrations as the sampling takes place earlier. It has been established that meteorological conditions influence the concentration of formaldehyde. An increase in air temperature correlates with an increase in the concentration of formaldehyde, especially in the daytime and evening hours, which is explained by increased solar insolation and warming of the atmospheric air. An increase in wind strength and air humidity, on the contrary, reduces the content of pollutants in the air. An assessment of the impact of formaldehyde on the health of the population, associated with the presence of a carcinogen in the atmosphere, showed that the city of Lipetsk is characterized by the maximum acceptable risk. The individual carcinogenic risk for the Traktorny District and areas near busy highways (the Ring of the Pipe Plant intersection) is $6 \cdot 10^{-5}$. This level of risk is assessed as the maximum acceptable. In these areas, the presence of formaldehyde in the air can provoke 5–6 additional cases of oncological diseases per year. Such values require monitoring and implementation of measures to reduce the negative impact.

Keywords: air pollution, formaldehyde, carcinogenic risks, meteorological conditions, atmosphere.

Одним из важнейших экологических вопросов в настоящее время является качество городской среды обитания. Среди многофакторного воздействия на урбанизированные территории ключевую роль играет загрязнение воздушного бассейна, обусловленное выбросами промышленности и автотранспорта. В условиях загрязнённой среды при постоянном ингаляционном воздействии создаётся потенциальный риск для здоровья городского населения. В особенности это характерно для крупных промышленных городов, где концентрация производств и плотность дорожно-уличной сети наибольшая.

Потенциальная опасность, связанная с наличием в атмосферном воздухе загрязняющих веществ прежде всего зависит от концентраций и токсичности поллютантов. Среди широкого спектра загрязнителей, оказывающих негативное воздействие на организм и здоровье человека, особое место занимают вещества, обладающие канцерогенными эффектами. В частности, к таким веществам относится формальдегид, присутствие которого повышает риск возникновения злокачественных новообразований у населения, проживающего в зоне воздействия.

В последние годы проблема формальдегидного загрязнения всё чаще обсуждается в работах отечественных и зарубежных авторов. Исследования, проведённые в городах Воронеже [1], Томске [2], Москве [3], Ижевске [4], Норильске, [5], Кирове и Ухте [6], а также в иностранных городах [7], показывают характерную картину повышенного содержания поллютанта как в примагистральных и промышленных зонах, так и в зонах жилой застройки, что является наиболее опасным фактором для здоровья населения, проживающего на территориях,

подверженных формальдегидному загрязнению воздушной среды.

Целью данного исследования является оценка уровней и динамики загрязнения воздушной среды города Липецка формальдегидом, анализ связи содержания поллютанта в приземном слое атмосферного воздуха с метеорологическими параметрами и оценка канцерогенного риска для населения города Липецка.

Объект и методы исследования

Объектом исследования выбран г. Липецк – крупный промышленный и экономический центр Центрального Черноземья. Валовая эмиссия загрязняющих веществ в атмосферу города в 2020 г. составила 270,3 тыс. т, что является одним из наибольших показателей в Российской Федерации [8, 9]. В отраслевой структуре г. Липецк имеет ярко выраженную специализацию на производстве чёрных металлов. На территории города расположен один из крупнейших в стране металлургических комбинатов полного цикла – «Новолипецкий металлургический комбинат» (НЛМК), доля выбросов которого составляет 96% от общей эмиссии города. Помимо НЛМК, промышленный каркас города представлен предприятиями химической, машиностроительной, пищевой промышленности, производством строительных материалов и конструкций, крупными объектами энергетики и жилищно-коммунального хозяйства. Также непосредственно к юго-восточной границе города прилегает территория особой экономической зоны федерального значения «Липецк», которая включает несколько десятков резидентов, специализирующихся на разных отраслях производства, в том числе на хими-

ческой, стекольной, машиностроительной промышленности и производстве строительных материалов и конструкций.

Для анализа и оценки загрязнения воздушной среды г. Липецка и связи концентраций формальдегида с метеорологическими параметрами были использованы фондовые данные Липецкого центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – филиала ФГБУ «Центрально-Чернозёмное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (Липецкий ЦГМС) за 2018–2020 гг. Мониторинг загрязнения воздушной среды на постах наблюдения за атмосферой (ПНЗ) осуществляется по полной программе – 4 раза в сутки в 01:00, 07:00, 13:00 и 19:00 ч. Формальдегид контролируется на 4 постах из 5 (ПНЗ №№ 2, 4, 6, 8), расположенных в разных частях города. Для оценки зависимости между концентрациями формальдегида и метеопараметрами был проведён расчёт корреляционных связей (r – коэффициент линейной корреляции).

Также были проведены натурные измерения концентраций формальдегида в приземном слое атмосферного воздуха с помощью переносного газоанализатора ГАНК-4 (А), который позволяет фиксировать максимально разовые значения данного поллютанта в атмосфере. Измерения были произведены в сентябре 2021 г. на 61-ом мониторинговом участке, расположенном на территории г. Липецка, в соответствии с [10] и с учётом функциональных зон города. По данным натурных измерений построена карта основных зон загрязнения формальдегидом территории города. Картографический материал создан на базе геоинформационной системы QGis 3.10 интерполированием методом обратных взвешиваний.

Оценка индивидуальных канцерогенных рисков для здоровья населения осуществлялась с использованием фондовых данных Липецкого ЦГМС и базировалась на подходах, изложенных в [11]. Канцерогенный риск оценивали по формуле (1):

$$CR = ADD \cdot SF, \quad (1)$$

где ADD – средняя суточная доза в течение жизни, мг/(кг · день); SF – фактор канцерогенного потенциала, (кг · день)/мг.

Полученные результаты сопоставлены с критериями приемлемости (безопасности) канцерогенного риска: риск, равный или меньший $1 \cdot 10^{-6}$ – допустимый риск; от $1 \cdot 10^{-6}$

до $1 \cdot 10^{-4}$ – предельно допустимый риск, вызывающий беспокойство; от $1 \cdot 10^{-4}$ до $1 \cdot 10^{-3}$ – приемлем для профессиональных групп, но неприемлем для населения в целом (опасный риск); риск равный или более $1 \cdot 10^{-3}$ – неприемлем ни для населения, ни для профессиональных групп (чрезвычайно опасный риск).

Оценка популяционных канцерогенных рисков, позволяющих определить дополнительное число случаев злокачественных новообразований, связанных с воздействием на протяжении всей жизни исследуемого загрязнителя, основывалась на [11] и рассчитывалась по формуле (2):

$$PCR = CR \cdot (POP/70), \quad (2)$$

где CR – индивидуальный канцерогенный риск; POP – численность исследуемой популяции, человек.

Результаты и обсуждение

Анализ и оценка загрязнения формальдегидом окружающей среды г. Липецка позволяет выявить основные закономерности динамики и пространственного распространения канцерогена. За 3-х летний период наблюдений (2018–2020 гг.) на ПНЗ Липецкого ЦГМС превышений максимально разовых предельно допустимых концентраций ($ПДК_{м.р.}$) зафиксировано не было. Наиболее высокие значения, равные $1 ПДК_{м.р.}$, наблюдались на ПНЗ № 4 (Тракторный район), расположенном вблизи НЛМК.

Однако, несмотря на то, что максимально разовые значения за данный период не превышали допустимого уровня, для относительных среднесуточных концентраций отмечены превышения. Годовая и суточная динамика концентраций формальдегида представлена на рисунке.

Потенциально опасным фактором является систематическое превышение среднесуточной $ПДК$ ($ПДК_{с.с.}$) в отдельные месяцы и периоды. Согласно полученным данным (рис.), наиболее высокие концентрации формальдегида наблюдаются в тёплый период года (май–сентябрь). Минимальные характерны для холодного периода (январь–март).

В суточном ходе пик концентраций приходится на вечерние часы. Такие показатели, наиболее вероятно, связаны аккумулятивным эффектом накопления загрязнения и вечерним «часом-пик» на дорогах города, который

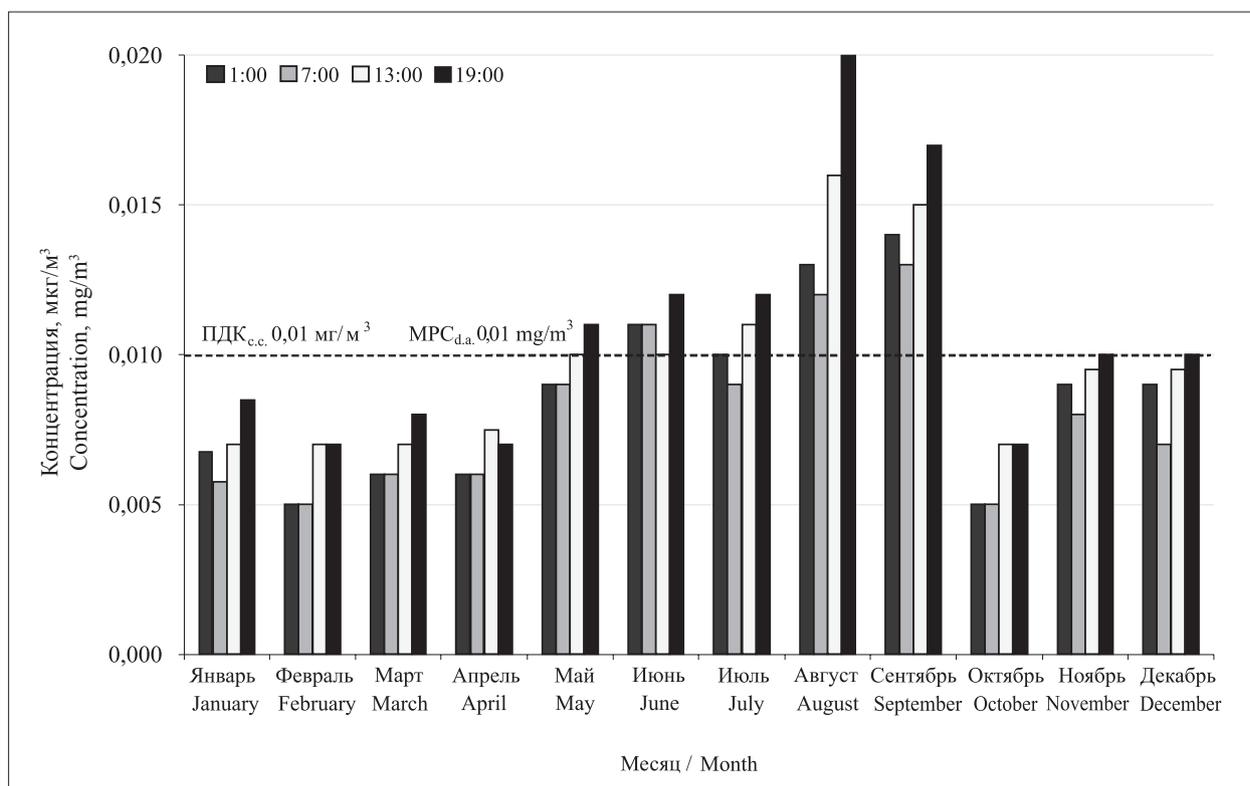


Рис. Концентрация формальдегида по месяцам в разное время суток
Fig. Formaldehyde concentration by month at different times of the day

растягивается с 16:30 до 19:30 ч. Минимальные значения наблюдаются в утренние часы (07:00). Утренний «час-пик», который длится с 07:00 до 09:00 ч, ещё не оказывает своего влияния на результаты анализа проб на ПНЗ.

Наиболее высокие концентрации формальдегида характерны для ПНЗ № 4 (Тракторный район, вблизи НЛМК) и ПНЗ № 2 (вблизи одного из наиболее оживлённых перекрёстков города – Кольца трубного завода).

В результате натурных измерений концентраций формальдегида в приземном слое атмосферы были выявлены превышения ПДК_{м.р.} на 7 мониторинговых участках в пределах от 1,2 до 2,5 раз. Наибольшие показатели зафиксированы на мониторинговых участках: проспект Мира (2,4 ПДК_{м.р.}), ул. Краснознамённая (2,15 ПДК_{м.р.}), ул. Краснозаводская (2,5 ПДК_{м.р.}) – мониторинговые участки вблизи НЛМК; перекрёсток Кольца трубного завода (2,2 ПДК_{м.р.}). Остальные превышения были зафиксированы вблизи оживлённых городских дорог в правобережной части города. Основными зонами загрязнения формальдегидом являются территории, прилегающие к НЛМК, а также наиболее оживлённые участки дорожной сети, что соотносится с данными наблюдения на постах Липецкого ЦГМС.

Важным фактором, влияющим на содержание формальдегида в атмосферном воздухе, является вторичное загрязнение – образование загрязняющего вещества под воздействием метеорологических условий, солнечной радиации и состояния атмосферы. Данную зависимость в своих работах отмечают многие исследователи. Как показано в работах [12, 13], формальдегид образуется при фотоокислении различных органических соединений в присутствии оксидов азота. Обычно это происходит в безветренную ясную погоду, когда метеорологические условия способствуют накоплению примесей и последующей фотохимической трансформации.

Для анализа связи между метеопараметрами и концентрациями формальдегида в г. Липецке был проведён расчёт коэффициента линейной корреляции (табл.). Результаты показывают, что наиболее значимая положительная связь прослеживается между содержанием в атмосфере исследуемого поллютанта и температурой воздуха. С ростом температуры происходит и рост концентраций формальдегида. В особенности это характерно для тёплого периода года и дневного времени, когда температуры и солнечная радиация максимальны.

Зависимость между скоростью ветра и влажностью воздуха по отношению к кон-

центрациям канцерогена характеризуется обратной направленностью. При повышении силы ветра и влажности воздуха содержание формальдегида снижается, что обусловлено повышенной способностью атмосферы к самоочищению в такие периоды.

Завершающим этапом исследования являлось определение индивидуального и популяционного канцерогенного риска для здоровья городского населения г. Липецка, связанного с присутствием формальдегида в атмосферном воздухе. Полученные расчётные значения показали, что индивидуальный канцерогенный риск составляет $6 \cdot 10^{-5}$, что находится в пределах второго диапазона критериев приемлемости и соответствует предельно допустимому риску, вызывающему беспокойство при воздействии загрязнителя в течение всей жизни человека.

Наиболее неблагоприятными районами города в данном аспекте являются Тракторный район (ПНЗ № 4) и территории, прилегающие к наиболее оживлённым городским перекрёсткам, включая примагистральные жилые массивы (в особенности в районе Кольца трубного завода – ПНЗ № 2), что связано с наибольшими, относительно остальной территории города, концентрациями формальдегида в атмосферном воздухе. По расчётным экспертным оценкам численность населения, проживающего в районах расположения данных ПНЗ, составляет порядка 100 тыс. человек [14]. Согласно расчёту по формуле 2, постоянное воздействие концентраций формальдегида, содержащегося в атмосферном воздухе г. Липецка в этих районах, может вызывать появление 5–6 дополнительных случаев онкологических заболеваний в год.

Заключение

По результатам проведённого исследования можно сделать следующие обобщающие выводы.

1. Максимальные значения концентраций формальдегида в атмосферном воздухе г. Липецка наблюдаются в тёплый период года (май–сентябрь) с пиковыми значениями в августе и сентябре, что обусловлено преимущественно антициклональным типом погоды и соответствующим температурным режимом в эти месяцы. В суточном ходе концентраций наблюдается явная закономерность увеличения содержания формальдегида в атмосфере в дневные и вечерние часы. Данный факт может быть обусловлен повышенной солнечной радиацией, проявлением кумулятивного эффекта накопления примесей, а также увеличением трафика на дорогах города во время вечернего «часа пик».

Влияние метеопараметров на концентрации поллютанта характеризуется ярко выраженной закономерностью увеличения содержания примеси с ростом температуры воздуха, в то время как при повышении скорости ветра и относительной влажности, наоборот, отмечено снижение концентрации формальдегида в воздухе.

2. Выявлено, что присутствие в атмосферном воздухе г. Липецка формальдегида потенциально провоцирует 5–6 дополнительных случаев онкологических заболеваний в год. Данный риск вызывает беспокойство и требует постоянного контроля и проведения систематических мероприятий по снижению негативного воздействия формальдегида на городскую среду обитания. Наиболее неблаго-

Таблица / Table

Степень корреляционных связей (%) между метеопараметрами и концентрациями формальдегида
The degree of correlation (%) between meteorological parameters and formaldehyde concentrations

Степень и направленность корреляционной связи The degree and direction of the correlation	Температура воздуха Air temperature				Скорость ветра Wind speed				Относительная влажность воздуха Relative humidity			
	Время наблюдений / Observation time											
	1:00	7:00	13:00	19:00	1:00	7:00	13:00	19:00	1:00	7:00	13:00	19:00
Средняя положительная Average positive	41,6	29,2	66,7	58,3	12,5	8,4	8,3	4,1	8,3	8,3	4,2	12,5
Средняя отрицательная Average negative	4,2	0,0	7,2	0,0	29,0	12,5	21,0	29,1	25,0	33,3	25,0	25,0

приятная ситуация по содержанию формальдегида в воздухе складывается в Тракторном районе, прилегающем к НЛМК, и на при магистральных территориях вблизи Кольца трубного завода. Также повышенное содержание формальдегида отмечается и на других оживлённых участках дорожно-уличной сети города.

Таким образом, для улучшения качества городской среды необходима разработка и реализация целенаправленной экологической политики и административных решений с целью снижения негативного воздействия на воздушный бассейн и охраны здоровья городского населения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках научного проекта № 20-17-00172.

Литература

1. Куролап С.А., Петросян В.С., Клепиков О.В., Кульнев В.В., Мартынов Д.Ю. Оценка влияния метеорологических параметров на техногенное загрязнение канцерогенно опасными химическими веществами воздушного бассейна города Воронежа // Экология и промышленность России. 2021. Т. 25. № 2. С. 60–65.
2. Селегей Т.С., Филоненко Н.Н., Шлычков В.А., Леженин А.А., Ленковская Т.Н. Формальдегидное загрязнение городской атмосферы и его зависимость от метеорологических факторов // Оптика атмосферы и океана. 2013. № 5. С. 422–426.
3. Судакова Е.Д. Многосредовой канцерогенный риск здоровью населения города Москвы // Вопросы управления и социальной гигиены. 2015. № 6 (267). С. 13–16.
4. Малькова И.Л., Семакина А.В. К оценке загрязнения атмосферного воздуха формальдегидом как фактора риска для здоровья детского населения города Ижевска // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. 2017. № 1. С. 55–59.
5. Воробьева И.А. Исследование причин формирования повышенных концентраций формальдегида в атмосфере города // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 2008. № 557. С. 206–215.
6. Кузнецова Д.А., Сизова Е.Н., Циркин В.И. Выбор населённых пунктов в качестве модели изучения влияния техногенных и климатогеографических факторов на человека // Теоретическая и прикладная экология. 2015. № 2. С. 34–41.
7. Zhu L., Jacob D.J., Keutsch F.N., Mickley L.J., Scheffe R., Strum M., Gonzalez A.G., Chance K., Yang K., Rappengluck B., Millet D.B., Baasandorj M., Jaegle L., Shah V. Formaldehyde (HCHO) as a hazardous air pollutant: Mapping surface air concentrations from satellite and

inferring cancer risks in the United States // Environmental Science & Technology. 2017. V. 51. P. 5650–5657.

8. Доклад «Состояние и охрана окружающей среды Липецкой области в 2019 году». Липецк: Управление экологии и природных ресурсов Липецкой области, 2020. 224 с.
9. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 году. Государственный доклад. М.: Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова, 2021. 864 с.
10. Руководство по контролю загрязнения атмосферы (РД 52.04.186-89). М., 1991. 694 с.
11. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду (Р2.1.10.1920–04). М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 143 с.
12. Безуглая Э.Ю., Ивлева Т.П. Формальдегид в атмосфере городов // Вопросы охраны атмосферы от загрязнения. Инф. бюллетень № 1 (2). СПб.: НПК Атмосфера, 2003. С. 73–81.
13. Скубневская Г.И., Дульцева Г.Г. Загрязнение атмосферы формальдегидом: Аналитический обзор. Новосибирск: ГППТБ СО РАН, 1994. 59 с.
14. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Липецкой области в 2019 году» / Под ред. В.А. Бондарева. Липецк, 2020. 227 с.

References

1. Kurolap S.A., Petrosyan V.S., Klepikov O.V., Kul'nev V.V., Martynov D.Yu. Evaluation for the influence of meteorological parameters on the technogenic pollution by carcinogenic chemicals in the air basin of Voronezh City // *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2021. V. 25. No. 2. P. 60–65 (in Russian). doi: 10.18412/1816-0395-2021-2-60-65
2. Selegey T.S., Filonenko N.N., Shlychikov V.A., Lezhenin A.A., Lenkovskaya T.N. Formaldehyde pollution of the urban atmosphere and its dependence on meteorological factors // *Optika atmosfery i okeana*. 2013. V. 26. No. 5. P. 422–426 (in Russian).
3. Sudakova E.D. Multi-environment carcinogenic risk to the population's health in Moscow // *Voprosy upravleniya i sotsialnoy gigieny*. 2015. No. 6 (267). P. 13–16 (in Russian).
4. Mal'kova I.L., Semakina A.V. Assessment of atmospheric air pollution with formaldehyde as a risk factor for the children's health in Izhevsk // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*. 2017. No. 1. P. 55–59 (in Russian).
5. Vorobieva I.A. Study of the reasons for the formation of elevated formaldehyde concentrations in the city atmosphere // *Trudy Glavnoy geofizicheskoy observatorii im. A.I. Voeykova*. 2008. No. 557. P. 206–215 (in Russian).

6. Kuznetsova D.A., Sizova E.N., Tsirkin V.I. Selection of settlements as a model for studying the effect of anthropogenic and climatic and geographical factors on human // *Theoretical and Applied Ecology*. 2015. No. 2. P. 34–41 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2015-2-034-041
7. Zhu L., Jacob D.J., Keutsch F.N., Mickley L.J., Scheffe R., Strum M., Gonzalez A.G., Chance K., Yang K., Rappengluck B., Millet D.B., Baasandorj M., Jaegle L., Shah V. Formaldehyde (HCHO) as a hazardous air pollutant: Mapping surface air concentrations from satellite and inferring cancer risks in the United States // *Environmental Science & Technology*. 2017. V. 51. P. 5650–5657. doi: 10.1021/acs.est.7b01356
8. The state and environmental protection of the Lipetsk Region in 2019: Report. Lipetsk: Upravlenie ekologii i prirodnikh resursov Lipetskoy oblasti, 2020. 224 p. (in Russian).
9. On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2020. State report. Moskva: Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Russian Federation, 2021. 864 p. (in Russian).
10. Air pollution control guide (R 52.04.186-89). Moskva, 1991. 694 p.
11. Human health risk assessment from environmental chemicals (R 2.1.10.1920-04). Moskva: Federalnyy tsentr gossanepidnadzora Minzdrava Rossii, 2004. 143 p. (in Russian).
12. Bezuglaya E.Yu., Ivleva T.P. Formaldehyde in the atmosphere of cities // *Voprosy okhrany atmosfery ot zagryazneniya*. Sankt-Peterburg: NPK Atmosfera, 2003. P. 73–81 (in Russian).
13. Skubnevskaya G.I., Dul'tseva G.G. Formaldehyde air pollution: An analytical review. Novosibirsk: GPPTB SO RAN, 1994. 59 p. (in Russian).
14. State report “On the state of sanitary and epidemiological well-being of the population in the Lipetsk region in 2019” / Ed. V.A. Bondarev. Lipetsk, 2020. 227 p. (in Russian).