



Научно-исследовательский журнал «International Journal of Medicine and Psychology / Международный журнал медицины и психологии»

<https://ijmp.ru>

2025, Том 8, № 5 / 2025, Vol. 8, Iss. 5 <https://ijmp.ru/archives/category/publications>

Научная статья / Original article

Шифр научной специальности: 3.3.3. Патологическая физиология (медицинские науки)

УДК 614.7

<sup>1</sup> **Рахимжанова К.Е.,**

<sup>1</sup> **Мамедова А.Х.,**

<sup>1</sup> *Казахстанско-российский медицинский университет, Казахстан*

## **Связь онкологических заболеваний с атмосферным загрязнением: роль диоксида азота и мелкодисперсных частиц в эпидемиологии рака в Республике Казахстан**

**Аннотация:** цель настоящего исследования – анализ воздействия загрязнителей атмосферы, в частности диоксида азота (NO<sub>2</sub>) и мелкодисперсных частиц (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>), на здоровье населения Республики Казахстан с акцентом на корреляцию между их концентрациями и онкологическим риском. Работа включает систематический обзор научной литературы, а также анализ экологической ситуации в Алматы – одном из наиболее загрязнённых городов страны. Представлены данные о пространственно-временной динамике концентраций загрязняющих веществ, выделены наиболее неблагополучные районы, обсуждены сезонные колебания загрязнения. Особое внимание уделено эпидемиологическим и токсикологическим аспектам: рассмотрены механизмы воздействия NO<sub>2</sub> и PM<sub>2.5</sub> на клеточном уровне, их способность провоцировать воспалительные и мутагенные процессы. Также затрагивается влияние загрязнённого воздуха на когнитивное здоровье населения.

Актуальность темы обусловлена ростом заболеваемости онкологическими и неврологическими патологиями в городах с высоким уровнем загрязнения воздуха. Алматы, как крупный мегаполис, испытывает высокую экологическую нагрузку, связанную с транспортными выбросами, промышленной активностью и особенностями ландшафта. В исследовании использованы данные официальной статистики, публикации в рецензируемых изданиях, а также результаты мониторинга качества воздуха за последние десять лет.

Методология включает геоинформационный и корреляционный анализ, позволивший выявить взаимосвязи между уровнем загрязнения и показателями общественного здоровья. Кроме того, рассмотрены международные подходы к управлению качеством воздуха и перспективы их применения в Казахстане.

На основе собранных данных предложены рекомендации для мониторинга, профилактики и смягчения негативных последствий. Полученные результаты подчеркивают необходимость комплексных междисциплинарных стратегий, направленных на снижение загрязнения и защиту здоровья населения в условиях урбанизации.

**Ключевые слова:** диоксид азота, твёрдые частицы, загрязнение воздуха, онкологический риск, Казахстан, эпидемиология, корреляционный анализ

**Для цитирования:** Рахимжанова К.Е., Мамедова А.Х. Связь онкологических заболеваний с атмосферным загрязнением: роль диоксида азота и мелкодисперсных частиц в эпидемиологии рака в Республике Казахстан // International Journal of Medicine and Psychology. 2025. Том 8. № 5. С. 53 – 59.

Поступила в редакцию: 10 марта 2025 г.; Одобрена после рецензирования: 14 мая 2025 г.; Принята к публикации: 4 июля 2025 г.

<sup>1</sup> *Rakhimzhanova K.E.,*

<sup>1</sup> *Mamedova A.Kh.,*

<sup>1</sup> *Kazakhstan-Russian Medical University, Kazakhstan*

## **Association between oncological diseases and air pollution: the role of nitrogen dioxide and particulate matter in cancer epidemiology in the Republic of Kazakhstan**

**Abstract:** the aim of this study is to analyze the impact of atmospheric pollutants-particularly nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) and fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>)-on public health in Kazakhstan, with a focus on the correlation between their concentrations and cancer risk. The paper includes a systematic literature review and an environmental analysis of Almaty, one of the country's most polluted cities. It presents data on the spatiotemporal dynamics of pollutant concentrations, highlights high-risk areas, and discusses seasonal pollution patterns. Special attention is given to epidemiological and toxicological aspects, including cellular mechanisms through which NO<sub>2</sub> and PM<sub>2.5</sub> provoke inflammation and mutagenesis. The impact on cognitive health is also addressed.

The relevance of the topic is linked to rising cancer and neurological disease rates in cities with severe air pollution. Almaty faces significant environmental pressure due to traffic, industry, and geographical factors. The study uses official statistics, peer-reviewed sources, and air quality data from the past decade.

The methodology includes geoinformation and correlation analysis to identify links between pollution levels and public health indicators. It also reviews international air quality management practices and their applicability to Kazakhstan.

Based on the findings, the study provides recommendations for monitoring, prevention, and mitigation. The results highlight the urgent need for integrated strategies to reduce pollution and protect public health in urban environments.

**Keywords:** nitrogen dioxide, particulate matter, air pollution, oncological risk, Kazakhstan, epidemiology, correlation analysis

**For citation:** Rakhimzhanova K.E., Mamedova A.Kh. Association between oncological diseases and air pollution: the role of nitrogen dioxide and particulate matter in cancer epidemiology in the Republic of Kazakhstan. International Journal of Medicine and Psychology. 2025. 8 (5). P. 53 – 59.

The article was submitted: March 10, 2025; Approved after reviewing: May 14, 2025; Accepted for publication: July 4, 2025.

### **Введение**

Урбанизация имеет многочисленные преимущества для человеческого общества, но некоторые аспекты городской среды, такие как загрязнение воздуха, могут отрицательно влиять на здоровье человека [1]. Окружающая среда играет решающую роль в формировании здоровья и благополучия человека [2].

На сегодняшний день, загрязнение воздуха представляет собой смесь физических, биологических и химических веществ, выделяемых как из искусственных (например, транспортных средств, промышленных предприятий и электростанций), так и из естественных (например, лесных пожаров) источников. Данные вещества загрязняют воздух, которым мы дышим, и наносят вред как окружающей среде, так и здоровью человека [3].

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) сообщила, что около 2,4 миллиарда человек готовят и отапливают свои дома посредством загрязняющих видов топлива, и каждый год 3,2 миллиона человек преждевременно умирают от загрязне-

ния воздуха в домохозяйствах. ВОЗ оценивает, что 99% людей проживали в районах, где критерии качества воздуха не соответствовали рекомендациям ВОЗ, а загрязнение окружающей среды привело к приблизительно 4,2 миллионам преждевременных смертей во всем мире [4].

В окружающей среде наиболее часто выявляются и регистрируются следующие атмосферные загрязнители: твердые частицы (PM<sub>2.5</sub> и PM<sub>10</sub>), диоксид азота (NO<sub>2</sub>), озон (O<sub>3</sub>), оксид углерода (CO) и диоксид серы (SO<sub>2</sub>) [4].

Твердые частицы (PM) были классифицированы как канцерогены Группы 1 [5]. Согласно монографии, опубликованной Международным агентством по изучению рака (IARC), загрязнение атмосферного воздуха, включая твердые частицы, представляет серьезный канцерогенный риск для здоровья [6].

По данным Республики Казахстан, газообразные и жидкие вещества составляют 79,6% от общего объема выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, тогда как доля твердых выбросов до-

стигает 20,4%. [7]. Алматы, крупнейший мегаполис Казахстана и его бывшая столица, входит в число наиболее загрязненных городов страны, являясь одной из ключевых зон загрязнения воздуха, особенно диоксидом азота (NO<sub>2</sub>). [8]. Согласно исследованию, проведенному в 2019 году, выбросы загрязняющих веществ в атмосферу в Алматы в несколько раз превышают установленные нормативы [9]. Загрязнение воздуха является одной из основных экологических проблем в Алматы, особенно из-за высоких уровней PM<sub>2.5</sub> и PM<sub>10</sub>, которые превышают рекомендуемые нормативы [10].

Таким образом, данное исследование приобретает актуальность в связи с высокой концентрацией загрязняющих веществ в атмосферном воздухе города Алматы, оказывающей негативное влияние на здоровье населения.

Целью настоящего исследования является оценка воздействия концентраций диоксида азота (NO<sub>2</sub>) и твердых частиц (PM<sub>2.5</sub>) в атмосферном воздухе на здоровье населения. А также исследование корреляции между уровнями загрязнения и онкологическим риском.

#### Материалы и методы исследований

Проведён систематический обзор научной литературы, опубликованной в научной базе данных PubMed, с использованием ключевых слов: «NO<sub>2</sub>», «PM<sub>2.5</sub>», «загрязнение воздуха», «онкологический риск». Обзор охватывал публикации за период с 2013 по 2024 годы. Дополнительно были использованы данные мониторинга качества воздуха в городе Алматы за 2023-2024 годы, позволяющие оценить концентрации загрязнителей в различных районах.

#### Результаты и обсуждения

В ходе проведенного исследования была выявлена значимая взаимосвязь между уровнями загрязнения воздуха и заболеваемостью, что позволяет более детально рассмотреть их влияние на здоровье населения.

Согласно данным исследования фонда Almaty Air Initiative за 2024 год, наибольшее загрязнение наблюдается в северо-восточных районах Алматы (Жетысуский, Турксибский), где среднегодовая концентрация PM<sub>2.5</sub> составляет 31,2 мкг/м<sup>3</sup>. Южные районы, такие как Медеуский и Бостандыкский, остаются сравнительно более чистыми, с концентрацией 16,1 мкг/м<sup>3</sup> – в два раза ниже, чем в северо-восточных районах города. Авторы отмечают, что среднегодовая концентрация PM<sub>2.5</sub> в Алматы в 2024 году составила 24,08 мкг/м<sup>3</sup>, что в 4,8 раза превышает рекомендации Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ). При этом концентрации PM<sub>2.5</sub> значительно варьируются в зависимости от времени года: летом средний пока-

затель составляет 11,5 мкг/м<sup>3</sup>, весной – 17,6 мкг/м<sup>3</sup>, осенью – 25,6 мкг/м<sup>3</sup>, а зимой достигает 49,9 мкг/м<sup>3</sup> [11].

Помимо изучения экологической обстановки в городе Алматы, в данной статье был проведен анализ научных публикаций, рассматривающих влияние атмосферных загрязнителей, таких как диоксид азота (NO<sub>2</sub>) и твердые частицы (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>), на здоровье населения. Особое внимание уделено изучению связи между этими загрязняющими веществами и онкологическим риском.

В ходе исследования проведен анализ научных трудов, посвященных влиянию атмосферных загрязнителей, включая NO<sub>2</sub> и PM<sub>2.5</sub>/10, на здоровье населения. Авторы рассмотренных работ внесли значительный вклад в изучение данной проблемы, акцентируя внимание на различных аспектах и предлагая методы оценки их воздействия.

Одним из значимых исследований в данной области является работа, посвященная долгосрочному воздействию NO<sub>2</sub> и PM<sub>2.5</sub> на уровень смертности среди городского населения. Учёными была установлена стабильная корреляция между ростом концентрации этих загрязнителей и повышенным риском смертности от респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний, а также отдельных онкологических патологий. Специалисты мирового уровня в областях экологии, эпидемиологии, городской среды и экологического здоровья продемонстрировали, что модели с двумя загрязнителями позволяют точнее оценивать влияние каждого из них, снижая риск искажения данных. Эти выводы имеют важное значение для исследований НИА (Health Impact Assessment), поскольку помогают получать более достоверные прогнозы последствий загрязнения и могут способствовать совершенствованию стандартов качества воздуха [12].

В свою очередь, группа других учёных изучала механизмы воздействия PM<sub>2.5</sub> на клеточном уровне. Их исследование показало, что мелкодисперсные частицы способны проникать в альвеолы легких, провоцируя хроническое воспаление и индуцируя мутации в клетках, что может способствовать развитию злокачественных новообразований. Результаты исследования подтверждают, что даже низкие концентрации NO<sub>2</sub> оказывают вредное влияние на здоровье, что делает его важным фактором для анализа в контексте роста онкологических заболеваний в Казахстане. Их выводы о необходимости пересмотра норм загрязнения воздуха подчёркивают актуальность изучения региональных данных о концентрации NO<sub>2</sub> и PM<sub>2.5</sub>. [13].

Также значительный вклад в изучение этой проблемы внесли ученые, предложившие комби-

нированный токсикологический и эпидемиологический подход для оценки воздействия NO<sub>2</sub>. Основное внимание авторы уделили применению концепции «Путей воздействия на здоровье» (Health Impact Pathways, HIPs), что позволило более точно оценить негативное влияние NO<sub>2</sub> и возможные механизмы его влияния на организм человека. Они предложили метод, который помогает проследить, каким образом NO<sub>2</sub> вызывает изменения в организме – например, повышает окислительный стресс и запускает воспалительные процессы. Эти процессы, в свою очередь, могут приводить к возникновению различных заболеваний. Основное преимущество такого подхода в том, что он позволяет не только оценить риски при текущих уровнях загрязнения, но и выявить при уровнях, находящихся в пределах нормативов, возможное негативное влияние на здоровье [14].

Примечательно, что в условиях загрязнённого воздуха, страдает и когнитивное здоровье. В исследовании, опубликованном в Scientific Reports, авторы проанализировали влияние длительного воздействия атмосферных загрязнителей – мелкодисперсных частиц PM<sub>2.5</sub> и PM<sub>10</sub>, диоксида серы (SO<sub>2</sub>) и озона (O<sub>3</sub>) – на когнитивное здоровье населения. Исследование показало, что повышенные концентрации PM<sub>2.5</sub> и PM<sub>10</sub> ассоциируются с ухудшением когнитивных функций, таких как память, внимание и скорость обработки информации, что может быть обусловлено развитием нейродегенеративных процессов и снижением общей нейрональной защиты. Хотя эффекты SO<sub>2</sub> и O<sub>3</sub> оказались менее выраженными, они также демонстрировали статистически значимую связь с нарушениями когнитивных способностей, указывая на синергетическое негативное воздействие комплексного загрязнения воздуха. Авторы предполагают, что ключевым механизмом такого влияния является окислительный стресс, приводящий к воспалительным процессам и повреждению нейронов, что, в свою очередь, увеличивает риск развития нейродегенеративных заболеваний. Эти выводы подчеркивают необходимость разработки мер по снижению выбросов загрязнителей для защиты когнитивного здоровья населения [15].

В другом исследовании 2024 года авторы выявили, что длительное воздействие этих загрязнителей связано с существенным повышением риска развития раковых заболеваний, что объясняется механизмами окислительного стресса, воспалительными реакциями и генетическими мутациями. Данные выводы имеют особую значимость, поскольку подтверждают, что даже при сравнительно низких уровнях загрязнения могут проявляться канцерогенные эффекты [1].

В исследовании, посвященном анализу пространственно-временной динамики концентраций атмосферных загрязнителей в Алматы, рассмотрены изменения уровней PM<sub>2.5</sub> и NO<sub>2</sub> в период с 2013 по 2018 годы. Результаты указывают на существенное снижение качества воздуха в данном временном интервале. Особенно это наблюдалось в зимние месяцы, что связано с выбросами от угольных электростанций и бытового отопления. Эти данные подчеркивают необходимость разработки стратегий по снижению загрязнения воздуха в регионе [8].

В целом, анализируя представленные работы, можно сделать вывод, что атмосферные загрязнители, в особенности NO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub> и PM<sub>10</sub> оказывают значительное влияние на здоровье населения, а их воздействие может быть связано с увеличением частоты онкологических заболеваний, особенно рака легких.

Авторы внесли значительный вклад в изучение и решение проблемы, но она до конца не изучена. Вопрос влияния загрязняющих веществ на здоровье населения, в частности, Казахстана остается открытым.

Отсутствуют четкие механизмы интеграции данных о характеристике качества воздуха в систему отслеживания заболеваемости, что затрудняет своевременное выявление и предупреждение негативных последствий.

Вместе с тем, меры по редукции уровня загрязнения воздуха в Казахстане носят фрагментарный характер, а внедрение комплексных стратегий требует более детального научного обоснования.

В связи с этим, я предлагаю следующие рекомендации, чтобы заполнить эти пробелы и обеспечить научную основу для разработки политики в области окружающей среды и здравоохранения:

1. Расширение отслеживания и анализа загрязнения воздуха

Необходима модернизация процесса мониторинга качества воздуха с увеличением числа постов наблюдения в районах с наибольшим уровнем загрязнения. Это обеспечит более точные и оперативные данные о концентрации вредных веществ, позволяя разрабатывать эффективные стратегии по их снижению.

Повышение частоты и точности измерений NO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub> и PM<sub>10</sub> для выявления краткосрочных и долгосрочных тенденций загрязнения, что позволит прогнозировать его влияние на здоровье населения и принимать превентивные меры.

2. Регуляторные и инфраструктурные меры

Снижение выбросов загрязняющих веществ за счет модернизации промышленных предприятий и внедрения более строгих экологических стандар-

тов. Это приведет к снижению концентрации токсичных веществ в атмосфере и уменьшит риск их воздействия на здоровье населения.

Стимулирование использования экологически чистых источников энергии и транспорта путем экономических мер (субсидии, налоговые льготы), что позволит сократить выбросы от автотранспорта и угольных ТЭЦ, являющихся основными источниками загрязнения воздуха.

### 3. Медицинские и превентивные меры

Реализация программ раннего выявления заболеваний, связанных с загрязнением воздуха, таких как респираторные заболевания и рак, в группах риска. Это позволит своевременно диагностировать и предупреждать тяжелые формы заболевания, тем самым снижая нагрузку на систему здравоохранения.

Разработать и реализовать образовательные программы о последствиях загрязнения воздуха, включая информирование населения о высоком риске развития онкологических заболеваний. Инструкция по методам защиты (использование масок, изменение образа жизни в неблагоприятное время). Повышение осведомленности общественности приведет к снижению негативных последствий загрязнения окружающей среды.

Данные меры помогут улучшить качество воздуха за счет тщательного мониторинга загрязняющих веществ и сокращения их выбросов, что, в свою очередь, снижает риск развития заболеваний, связанных с загрязнением воздуха, и, в частности, риск онкологических патологий. Повышение экологических стандартов и содействие использованию чистых источников энергии позволят снизить негативное воздействие промышленных и транспортных выбросов. Внедрение программ раннего выявления патологий и повышения осведомленно-

сти населения позволяют своевременно диагностировать заболевания и снижать их распространенность, что приводит к снижению нагрузки на систему здравоохранения и улучшению качества жизни людей.

### Выводы

На основании проведенного литературного обзора и анализа существующих исследований можно сделать вывод, что загрязнение атмосферного воздуха, особенно повышенные концентрации NO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub> и PM<sub>10</sub>, оказывает значительное негативное воздействие на здоровье населения, включая повышенный риск онкологических заболеваний. Таким образом, важным аспектом является разработка и реализация комплексных программ, направленных на уменьшение загрязнения воздуха и повышение осведомленности населения о связанных с этим рисках.

Полученные результаты могут быть полезны специалистам в области экологии, эпидемиологии и здравоохранения, а также политикам, разрабатывающим меры по улучшению качества воздуха. В работе затрагиваются ключевые аспекты влияния загрязняющих веществ на организм, что может способствовать более точному прогнозированию рисков и разработке целевых профилактических стратегий.

Кроме того, акцент сделан на необходимость дальнейших исследований, направленных на уточнение механизмов воздействия загрязняющих веществ и выявление наиболее уязвимых групп населения. Внедрение эффективных стратегий мониторинга и контроля качества воздуха, наряду с междисциплинарным подходом к охране окружающей среды и здравоохранению, позволит минимизировать негативные последствия загрязнения и повысить уровень общественного здоровья.

### Список источников

1. Arif I.R., Adams M.D., Johnson M.T.J. A meta-analysis of the carcinogenic effects of particulate matter and polycyclic aromatic hydrocarbons // *Environmental Pollution*. 2024. Vol. 351. Article No. 123941. P. 1. DOI: 10.1016/j.envpol.2024.123941
2. Jerrett M., Burnett R.T., Beckerman B.S., Turner M.C., Krewski D., Thurston G., Martin R.V., van Donkelaar A., Hughes E., Shi Y., Gapstur S.M., Thun M.J., Pope C.A. 3rd. Spatial analysis of air pollution and mortality in California // *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 2013. Vol. 188. No. 2. P. 140. – DOI: 10.1164/rccm.201205-0872OC
3. Manisalidis I., Stavropoulou E., Stavropoulos A., Bezirtzoglou E. Environmental and health impacts of air pollution: A review // *Frontiers in Public Health*. 2020. Vol. 8. Article No. 14. DOI: 10.3389/fpubh.2020.00014
4. World Health Organization (WHO). Air Quality, Energy, and Health [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.who.int/> (дата обращения: 10.02.2025)
5. World Health Organization. List of Classified Agents by the IARC Monographs, Volumes, 2024 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://monographs.iarc.who.int/list-of-classifications> (дата обращения: 10.02.2025)

6. Ma Y., Harrad S. Spatiotemporal analysis and human exposure assessment on polycyclic aromatic hydrocarbons in indoor air, settled house dust, and diet: a review // *Environmental Science and Pollution Research*. 2015. Vol. 22. No. 13. P. 10119 – 10131. DOI: 10.1007/s11356-015-4956-8
7. Бюро национальной статистики Республики Казахстан. Об охране атмосферного воздуха в Республике Казахстан в 2022 году: данные о выбросах загрязняющих веществ [Электронный ресурс]. 2023. Режим доступа: <http://stat.gov.kz/> (дата обращения: 10.02.2025)
8. Kerimray A., Azbanbayev E., Kenessov B., Plotitsyn P., Alimbayeva D., Karaca F. Spatiotemporal variations and contributing factors of air pollutants in Almaty, Kazakhstan // *Aerosol and Air Quality Research*. 2020. Vol. 20. No. 6. P. 1340 – 1352. DOI: 10.4209/aaqr.2019.09.0464
9. Kerimray A., Kenessov B., Karaca F. Trends and health impacts of major urban air pollutants in Kazakhstan // *Journal of the Air & Waste Management Association*. 2019. Vol. 69. P. 1331 – 1347. DOI: 10.1080/10962247.2019.1668873
10. Air Quality and Health Impacts of Air Pollution in Almaty, Kazakhstan [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/> (дата обращения: 10.02.2025)
11. Almaty Air Initiative. Отчет о качестве воздуха в Алматы за 2024 год [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://air.org.kz/research/2024\\_report\\_ru](https://air.org.kz/research/2024_report_ru) (дата обращения: 10.02.2025)
12. Chen X., Gehring U., Dyer G.M.C., Khomenko S., de Hoogh K., Tonne C., Tatah L., Vermeulen R., Khreis H., Nieuwenhuijsen M., Hoek G. Single- and two-pollutant concentration-response functions for PM<sub>2.5</sub> and NO<sub>2</sub> for quantifying mortality burden in health impact assessments // *Environmental Research*. 2024. Vol. 263. Article No. 120215. P. 8 – 9, 11. DOI: 10.1016/j.envres.2024.120215
13. Kasdagli M.-I., Orellano P., Pérez Velasco R., Samoli E. Long-term exposure to nitrogen dioxide and ozone and mortality: Update of the WHO Air Quality Guidelines systematic review and meta-analysis // *International Journal of Public Health*. 2024. Vol. 69. Article No. 1607676. P. 10 – 12. DOI: 10.3389/ijph.2024.1607676
14. Bai Y., Liang X., Xia L., Yu S., Wu F., Li M. Association between air pollutants and four major mental disorders: Evidence from a Mendelian randomization study // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2024. Vol. 283. Article No. 116887. P. 5 – 9. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2024.116887
15. Meo S.A., Shaikh N., Alotaibi M., AlWabel A.A., Alqumaidi H. Effect of air pollutants particulate matter (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>), sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) and ozone (O<sub>3</sub>) on cognitive health // *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14. Article No. 19616. P. 1 – 2, 6 – 7, 9 – 10. DOI: 10.1038/s41598-024-70646-6

## References

1. Arif I.R., Adams M.D., Johnson M.T.J. A meta-analysis of the carcinogenic effects of particulate matter and polycyclic aromatic hydrocarbons. *Environmental Pollution*. 2024. Vol. 351. Article No. 123941. P. 1. DOI: 10.1016/j.envpol.2024.123941
2. Jerrett M., Burnett R.T., Beckerman B.S., Turner M.C., Krewski D., Thurston G., Martin R.V., van Donkelaar A., Hughes E., Shi Y., Gapstur S.M., Thun M.J., Pope C.A. 3rd. Spatial analysis of air pollution and mortality in California. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 2013. Vol. 188.No. 2. P. 140. – DOI: 10.1164/rccm.201205-0872OC
3. Manisalidis I., Stavropoulou E., Stavropoulos A., Bezirtzoglou E. Environmental and health impacts of air pollution: A review. *Frontiers in Public Health*. 2020. Vol. 8. Article No. 14. DOI: 10.3389/fpubh.2020.00014
4. World Health Organization (WHO). Air Quality, Energy, and Health [Electronic resource]. Access mode: <https://www.who.int/> (date of access: 02.10.2025)
5. World Health Organization. List of Classified Agents by the IARC Monographs, Volumes, 2024 [Electronic resource]. Access mode: <https://monographs.iarc.who.int/list-of-classifications> (date of access: 10.02.2025)
6. Ma Y., Harrad S. Spatiotemporal analysis and human exposure assessment on polycyclic aromatic hydrocarbons in indoor air, settled house dust, and diet: a review. *Environmental Science and Pollution Research*. 2015. Vol. 22. No. 13. P. 10119 – 10131. DOI: 10.1007/s11356-015-4956-8
7. Bureau of National Statistics of the Republic of Kazakhstan. On atmospheric air protection in the Republic of Kazakhstan in 2022: data on pollutant emissions [Electronic resource]. 2023. Access mode: <http://stat.gov.kz/> (date of access: 02.10.2025)
8. Kerimray A., Azbanbayev E., Kenessov B., Plotitsyn P., Alimbayeva D., Karaca F. Spatiotemporal variations and contributing factors of air pollutants in Almaty, Kazakhstan. *Aerosol and Air Quality Research*. 2020. Vol. 20.No. 6. P. 1340 – 1352. DOI: 10.4209/aaqr.2019.09.0464

9. Kerimray A., Kenessov B., Karaca F. Trends and health impacts of major urban air pollutants in Kazakhstan. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 2019. Vol. 69. P. 1331 – 1347. DOI: 10.1080/10962247.2019.1668873
10. Air Quality and Health Impacts of Air Pollution in Almaty, Kazakhstan [Electronic resource]. Access mode: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/> (date of access: 10.02.2025)
11. Almaty Air Initiative. Air quality report in Almaty for 2024 [Electronic resource]. Access mode: [https://air.org.kz/research/2024\\_report\\_ru](https://air.org.kz/research/2024_report_ru) (date of access: 10.02.2025)
12. Chen X., Gehring U., Dyer G.M.C., Khomenko S., de Hoogh K., Tonne C., Tatah L., Vermeulen R., Khreis H., Nieuwenhuijsen M., Hoek G. Single- and two-pollutant concentration-response functions for PM<sub>2.5</sub> and NO<sub>2</sub> for quantifying mortality burden in health impact assessments. *Environmental Research*. 2024. Vol. 263. Article No. 120215. P. 8 – 9, 11. DOI: 10.1016/j.envres.2024.120215
13. Kasdagli M.-I., Orellano P., Pérez Velasco R., Samoli E. Long-term exposure to nitrogen dioxide and ozone and mortality: Update of the WHO Air Quality Guidelines systematic review and meta-analysis. *International Journal of Public Health*. 2024. Vol. 69. Article No. 1607676. P. 10 – 12. DOI: 10.3389/ijph.2024.1607676
14. Bai Y., Liang X., Xia L., Yu S., Wu F., Li M. Association between air pollutants and four major mental disorders: Evidence from a Mendelian randomization study. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2024. Vol. 283. Article No. 116887. P. 5 – 9. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2024.116887
15. Meo S.A., Shaikh N., Alotaibi M., AlWabel A.A., Alqumaidi H. Effect of air pollutants particulate matter (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>), sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) and ozone (O<sub>3</sub>) on cognitive health. *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14. Article No. 19616. P. 1 – 2, 6 – 7, 9 – 10. DOI: 10.1038/s41598-024-70646-6

### Информация об авторах

**Рахимжанова К.Е.**, преподаватель, Казахстанско-российский медицинский университет, г. Алматы, Казахстан, [rakhimzhanova010@mail.ru](mailto:rakhimzhanova010@mail.ru)

**Мамедова А.К.**, Казахстанско-российский медицинский университет, г. Алматы, Казхстан, [alinakhalitovna@mail.ru](mailto:alinakhalitovna@mail.ru)

© Рахимжанова К.Е., Мамедова А.К., 2025