

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОЗДУХА И РИСКИ РАЗВИТИЯ ОНКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ: ОБЗОР МЕТА-АНАЛИЗОВ

**Г.С. КРАСНОВ¹, А.М. ГИЗАТУЛЛИНА¹, Т.А. ТАСТАЙБЕК^{1,2},
А.Т. МАНШАРИПОВА², Р.И. МУХАМЕДИЕВ^{1,3}, А. СЫМАГУЛОВ¹**

¹Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, Алматы, Республика Казахстан;

²НУО «Казахстанско-Российский Медицинский Университет», Алматы, Республика Казахстан;

³Институт информационных и вычислительных технологий МНВО РК, Алматы, Республика Казахстан

АННОТАЦИЯ

Актуальность: Загрязнение воздуха, признанное Всемирной организацией здравоохранения глобальной угрозой из-за его вклада в развитие хронических и онкологических заболеваний, вызывает особую тревогу в мегаполисах вроде Алматы, где его уровни значительно превышают нормы и особенно опасны для уязвимых групп населения.

Цель исследования – систематический обзор мета-анализов, посвященных влиянию загрязнения воздуха на риск развития различных видов онкологических заболеваний, наиболее актуальных для Республики Казахстан.

Методы: Систематический обзор был выполнен на основе публикаций из баз данных PubMed, Web of Science, Scopus, Embase и Cochrane Library за период с 2015 по 2025 годы. Включались только мета-анализы, исследующие связь загрязнителей воздуха (PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂, SO₂, O₃ и других) с онкологическими заболеваниями. Для анализа извлекались параметры относительного риска (RR) и концентрации загрязняющих веществ.

Результаты: Обзор выявил значительные корреляции между воздействием загрязнителей воздуха и повышенным риском развития ряда онкологических заболеваний. Представлено влияние загрязнителей на риск онкологических заболеваний.

Закключение: Загрязнение воздуха признано значимым фактором риска развития рака и смертности от онкологических заболеваний. В связи с этим требуется разработка государственных и индивидуальных экологических мер, включая внедрение программных и инженерных решений для мониторинга и улучшения качества воздуха в жилых и рабочих помещениях.

Ключевые слова: загрязнение воздуха, онкологические заболевания, риск развития рака, мета-анализ, PM_{2.5}, NO₂, Казахстан.

Введение: На сегодняшний день негативное влияние загрязнения воздуха на дыхательную, сердечно-сосудистую системы и общее качество жизни признано значимой проблемой в разных географических зонах [1-3]. Также внимание исследователей привлекает связь загрязнения с развитием онкологических заболеваний [4, 5]. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), загрязнение воздуха ежегодно становится причиной миллионов преждевременных смертей, а его вклад в развитие хронических заболеваний и онкологических патологий признан глобальной угрозой [6].

Согласно аналитической записке ЮНИСЕФ [7], загрязнение воздуха представляет основную экологическую опасность для здоровья детей. Дети младшего возраста особенно подвержены риску смерти и болезней, связанных с загрязнением воздуха [7]. Согласно данным Института измерения показателей и оценки состояния здоровья (IHME, Великобритания), в 2021 году в 23 странах и территориях Европы и Центральной Азии зафиксирован 6441 случай смерти детей и подростков от связанных с загрязнением воздуха причин, и подавляющее большинство (85%) умерли в первый год жизни [8].

Среди крупных городов с высоким уровнем загрязнения особое место занимает город Алматы, крупнейший мегаполис Казахстана. Город страдает от ин-

тенсивных выбросов промышленных предприятий, выхлопных газов автотранспорта и неблагоприятных природных условий, включая географическое расположение в котловине, ограничивающей естественную вентиляцию воздуха [9]. Согласно отчетам экологических служб, концентрация таких загрязнителей, как PM_{2.5}, PM₁₀, диоксид азота (NO₂) и сернистый газ (SO₂), в Алматы часто превышает предельно допустимые нормы [9, 10]. По данным IQAir [11], глобальной платформы мониторинга качества воздуха, концентрации PM_{2.5} в Алматы регулярно превышают Рекомендации ВОЗ по качеству окружающего воздуха в 17 раз в зимние месяцы [11]. Также, согласно новому исследованию Всемирного банка, более чистое отопление жилых помещений является одним из ключей к снижению загрязнения воздуха в городах Казахстана [12].

Нарастающий масштаб проблемы загрязнения воздуха требует не только принятия экологических мер, но и глубокого изучения его последствий для здоровья. В данной статье рассматриваются результаты мета-анализов, посвященных влиянию загрязнения воздуха на риск возникновения различных видов рака.

Цель исследования – систематический обзор мета-анализов, посвященных влиянию загрязнения воздуха на риск развития различных видов онкологических заболеваний, наиболее актуальных для Республики Казахстан.



Рисунок 1 – Типичное состояние воздушного бассейна в Алматы в зимний (слева) и осенний (справа) периоды

Материалы и методы:

Источники данных и стратегия поиска. Для проведения систематического обзора были использованы статьи из крупнейших медицинских и экологических баз данных: PubMed, Web of Science, Scopus, Embase и Cochrane Library. Поиск проводился за период с 2015 по 2025 годы. Использовались следующие ключевые слова и их комбинации: «air pollution», «carcinogenesis», «cancer risk», «meta-analysis», «particulate matter (PM_{2,5}, PM₁₀)», «volatile organic compounds (VOCs)», «nitrogen dioxide (NO₂)», «ozone (O₃)». В обзор включались только мета-анализы, которые: (1) были опубликованы в рецензируемых журналах, (2) содержали данные о связи загрязнителей воздуха (PM_{2,5}, PM₁₀, NO₂, SO₂, O₃, летучие органические вещества (VOCs) и других) с рисками развития онкологических заболеваний наиболее распространенных типов рака в Республике Казахстан.

Процесс отбора исследований. Все найденные публикации были загружены в менеджер библиографии EndNote. Дублирующиеся записи удалялись. Первоначальный отбор проводился двумя независимыми исследователями на основании названий и аннотаций. Полные тексты выбранных статей анализировались для определения соответствия критериям включения. Для анализа данных были извлечены следующие параметры: (1) относительный риск (relative risk, RR), отношение шансов (odds ratio, OR) или отношение рисков (hazard ratio, HR) для развития онкологических заболеваний, (2) уровни загрязнения воздуха в анализируемых исследованиях.

Этические аспекты. Так как работа базировалась на анализе уже опубликованных данных, этическое одобрение не требовалось. Все исследования, включенные в обзор, соответствовали этическим стандартам, установленным для первичных данных.

Результаты:

Рак молочной железы и загрязнение воздуха, связанное с дорожным трафиком. Загрязнение воздуха, связанное с дорожным трафиком (Traffic-Related Air Pollution), увеличивает риск рака молочной железы на 1,5% на каждые 10 мкг/м³ увеличения воздействия NO₂ [13]. При этом связанный с источниками горения оксид азота (NO) окисляется на воздухе и образует NO₂, который играет роль на нескольких стадиях рака, включая

ангиогенез, апоптоз, клеточный цикл, инвазия и метастазирование [14-16].

В систематический обзор J. Tippila et al. были включены 25 параллельных исследований о связи загрязнения воздуха и рака молочной железы с преимущественным фокусом на PM_{2,5}, PM₁₀ и NO₂ [17]. В исследовании J.Y. Ou et al. [18] у группы молодых пациентов до 39 лет концентрации PM_{2,5} ≥ 12 мкг/м³ были связаны с повышенной смертностью от рака молочной железы, HR на 5 лет = 1,50 (95% ДИ от 1,29 до 1,74), HR на 10 лет = 1,30 (95% ДИ от 1,13 до 1,50) [18]. Исследование A. Amadou et al. (2021) показало, что длительное воздействие бензо(а)пирена в атмосферном воздухе связано с повышенным риском развития рака молочной железы – на каждый 1 межквартильный размах (IQR) концентрации бензо(а)пирена (1,42 нг/м³) приходился рост показателя OR=1,15 (95% ДИ: от 1,04 до 1,27), более высокие показатели отмечались у женщин, переживших менопаузальный переход, и у пациенток с гормоноположительными опухолями [19].

Опасной является и близость к дороге для детей – одно исследование сообщило о пограничной ассоциации (HR=1,4; 95% ДИ: от 1,0 до 1,9) между риском рака молочной железы и близостью в детстве к дороге с характеристиками высокого воздействия загрязняющих веществ, связанных с транспортным движением. Среди факторов влияния оказались (1) близкое расположение, (2) наличие разделительной полосы/барьера, (3) нескольких полос и (4) интенсивного движения [20].

Рак легких. Сводные оценки показали, что NO₂, ЕС и PM_{2,5} связаны со смертностью от всех причин, сердечно-сосудистых заболеваний, ишемической болезни сердца, респираторных заболеваний и рака легких (RR=1,04; 95% ДИ: 1,01-1,07) [21].

В исследовании B. Brunekreef описывается форма взаимосвязи между долгосрочным воздействием четырех загрязняющих веществ (PM_{2,5}, NO₂, BC и O₃) на здоровье. Исследователи обнаружили значимые положительные связи между PM_{2,5}, NO₂ и BC и смертью от естественных причин, респираторными, сердечно-сосудистыми заболеваниями и раком легких, с умеренной или высокой гетерогенностью между когортами – для рака легких увеличение HR было обнаружено только для PM_{2,5}, HR 1,13 (95 % ДИ: 1,05-1,23) [22].

Мета-анализ, проведенный T. Ramamoorthy et al. [23], включал 61 исследование, из которых 53 были когортными исследованиями и 8 – исследованиями случай-контроль. PM_{2,5} был воздействующим загрязняющим веществом в половине (55,5%) исследований, а рак легких был наиболее часто изучаемым раком – 59% исследований [23]. Объединенный анализ воздействия, зарегистрированного в когортных и случай-контрольных исследованиях, и заболеваемости раком продемонстрировал значительную связь, RR=1,04 (95% ДИ: 1,02-1,05). Значительная связь наблюдалась между воздействием загрязняющих веществ, таких как PM_{2,5} (RR=1,08; 95% ДИ: 1,04-1,12) и диоксидом азота (NO₂) (RR=1,03; 95% ДИ: 1,01 до 1,05) и заболеваемостью раком легких. Связь между воздействием загрязняющих веществ воздуха и смертностью от рака продемонстрировала значительную связь (RR=1,08; 95% ДИ: 1,07-1,10). Среди четырех загрязняющих веществ PM_{2,5} (RR=1,15; 95% ДИ: 1,08-1,22) и NO₂ (RR=1,05; 95% ДИ: 1,02-1,08) были связаны со смертностью от рака легких. Исследование подтверждает связь между воздействием загрязнения воздуха и заболеваемостью и смертностью от рака легких [23].

В мета-анализ J.S. Pyo et al. были включены 19 исследований, в которых оценивалось воздействие PM_{2,5} и PM₁₀ [24].

Анализ показал, что заболеваемость раком легких значительно увеличивается при воздействии PM_{2,5} (RR=1,172; 95% ДИ: 1,002-1,371). Смертность от всех причин и от рака легких была значительно увеличена воздействием PM_{2,5} (HR=1,143; 95% ДИ: 1,011-1,291 и HR=1,144; 95% ДИ 1,002-1,307, соответственно) [6].

Таким образом вышеуказанные мета-анализы подтверждают, что загрязнение воздуха является значимым фактором риска для развития ряда онкологических заболеваний. Также следует учесть, в отношении долгосрочного воздействия и влияния на редкие виды рака.

Колоректальный рак. Мета-анализ семи наблюдательных исследований подтвердил связь между воздействием PM_{2,5} (на приращение 10 мкг/м³) и повышенным риском развития колоректального рака (RR=1,42; 95% ДИ: 1,12-1,79). При этом более высокий показатель загрязнения воздуха (Air Pollutants Exposure Score), предложенный рабочей группой исследования, был связан с повышенным риском колоректального рака (RR=1,03; 95% ДИ: 1,01-1,06) и худшей выживаемостью (RR=1,13; 95% ДИ: 1,03-1,23), особенно среди участников с недостаточной физической активностью и когда-либо куривших [25].

Мета-анализ результатов 30 когортных исследований выявил, что рост уровня твердых веществ PM_{2,5}, PM₁₀ и диоксида азота (NO₂) на 10 мкг/м³ ассоциируется с увеличением вероятности смертности от рака на 17% (95% ДИ: 11-24%), 9% (95% ДИ: 4-14%) и 6% (95% ДИ: 2-10%), соответственно. В частности, рост содержания NO₂ на 6,5 частей на миллиард (ppb) был связан с повышением вероятности летального исхода от колоректального рака на 6% (95% ДИ: 2-10%) [26].

Мета-анализ, включающий 13 исследований, показал, что воздействие PM_{2,5} ассоциируется с повышением вероятности развития рака желудочно-кишечного

тракта на 12% (95% ДИ: 1-24%). Наибольшие ассоциации были выявлены для рака печени, где риск увеличивался на 31% (95% ДИ: 7-56%), а также для колоректального рака, при котором риск повышался на 35% (95% ДИ: 8-62%) [27].

Мета-анализ P. Fu et al. выявил связь между воздействием PM_{2,5} и увеличением риска заболеваемости колоректальным раком на 18% (95% ДИ: 9-28%) и смертности от него на 21% (95% ДИ: 9-35%) [28].

Обсуждение: Экологические проблемы Казахстана связаны с ростом городов, использованием угля и нефти для выработки электроэнергии и тепла, работой добывающей промышленности [29]. Интенсивное освоение природных ресурсов, зачастую без учета воздействия на окружающую среду, неизбежно приводит к загрязнению земель и почв [29]. Можно отметить, что в крупнейшем городе Казахстана – Алматы – один из самых высоких уровней загрязнения атмосферы [30]. Основными источниками загрязнения являются выбросы от промышленности, автотранспорта и систем отопления [9]. Кроме того, географическое расположение города в котловине у подножия гор существенно ограничивает естественную вентиляцию воздуха, что усугубляет ситуацию [9-11].

Зимой концентрация загрязняющих веществ, таких как PM_{2,5}, PM₁₀, NO₂ и SO₂, может превышать предельно допустимые нормы в 10-17 раз [11]. Это представляет прямую угрозу для здоровья жителей города, увеличивая риск развития онкологических, респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний. Следует отметить, что текущие научные работы сфокусированы на влиянии загрязнения на онкологическую заболеваемость, но не оценивается состояния онкологических пациентов после вмешательств, связанных с онкозаболеваниями. Это направление может быть точкой роста оценки исходов после вмешательств, а также сравнения ряда вмешательств у пациентов в регионах с плохой и нормальной экологической ситуацией.

Учитывая описанные риски, необходимо принять проактивные меры для минимизации воздействия загрязнения воздуха на здоровье населения. Это включает как государственные инициативы по переходу на экологически чистые технологии и усилению мониторинга качества воздуха, так и индивидуальные усилия, такие как использование современных программных и инженерных решений для улучшения качества воздуха в жилых и рабочих помещениях. Программы экологического образования, внедрение энергоэффективных технологий и развитие общественного транспорта также могут стать важной частью стратегии снижения рисков. Одно из направлений, которым проактивно занимается научная группа CUES – это развитие мониторинга экологического статуса города с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) [29]. Внедрение БПЛА поможет лучше контролировать экологический статус и дать оценку опасности отдельных районов города, а в совокупности с остальными технологиями – обеспечить контур оценки личной экологической безопасности и определить мероприятия для снижения рисков.

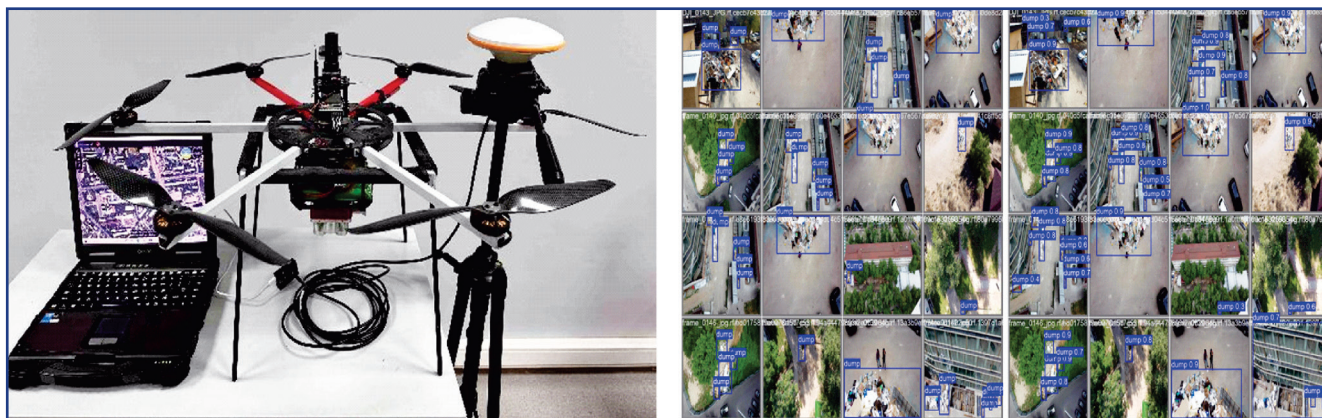


Рисунок 2 – Разрабатываемые научной группой БПЛА и пример анализа загрязнения города твёрдыми бытовыми отходами с помощью искусственного интеллекта.

Таким образом, решительные действия и координация усилий на государственном, общественном и индивидуальном уровнях необходимы для улучшения экологической ситуации и снижения негативного влияния загрязнения воздуха на здоровье населения в Алматы и других городах с подобными географическими условиями.

Заключение: С учетом вышеизложенного материала следует признать необходимость разработки экологических мер по противодействию загрязнению воздуха с точки зрения онкологических заболеваний. Необходимо проводить образовательные мероприятия среди врачей-онкологов для повышения информированности о рисках, связанных с загрязнением окружающей среды.

Список использованных источников:

1. Zhou H., Hong F., Wang L., Tang X., Guo B., Luo Y., Yu H., Mao D., Liu T., Feng Y., Baima Y., Zhang J., Zhao X.; China Multi-Ethnic Cohort (CMEC). Air pollution and risk of 32 health conditions: outcome-wide analyses in a population-based prospective cohort in Southwest China // *BMC Med.* – 2024. – Vol. 22(1). – P. 370. <https://doi.org/10.1186/s12916-024-03596-5>
2. Behera D.K., Viswanathan P.K., Mishra S. Effects of air pollution on global health: evidence from the global burden of disease study in the BRICS countries // *Int. Arch. Occup. Environ. Health.* – 2024. – Vol. 97(8). – P. 813–832. <https://doi.org/10.1007/s00420-024-02087-7>
3. Orellano P., Kasdagli M.I., Pérez Velasco R., Samoli E. Long-Term Exposure to Particulate Matter and Mortality: An Update of the WHO Global Air Quality Guidelines Systematic Review and Meta-Analysis // *Int. J. Public Health.* – 2024. – Vol. 69. – P. 1607683. <https://doi.org/10.3389/ijph.2024.1607683>
4. Porcherie M., Linn N., Le Gall A.R., Thomas M.F., Faure E., Rican S., Simos J., Cantoreggi N., Vaillant Z., Cambon L., Regnaud J.P. Relationship between Urban Green Spaces and Cancer: A Scoping Review // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* – 2021. – Vol. 18(4). – P. 1751. <https://doi.org/10.3390/ijerph18041751>
5. Conroy S.M., Shariff-Marco S., Yang J., Hertz A., Cockburn M., Shvetsov Y.B., Clarke C.A., Abright C.L., Haiman C.A., Le Marchand L., Kolonel L.N., Monroe K.R., Wilkens L.R., Gomez S.L., Cheng I. Characterizing the neighborhood obesogenic environment in the Multiethnic Cohort: a multi-level infrastructure for cancer health disparities research // *Cancer Causes Control.* – 2018. – Vol. 29(1). – P. 167–183. <https://doi.org/10.1007/s10552-017-0980-1>
6. Всемирная организация здравоохранения. Загрязнение атмосферного воздуха (воздуха вне помещений) и здоровье человека. 24.10.2024 [Vsemirnaya organizatsiya zdoravooxraneniya. Zagryaznenie atmosfornogo vozduxa (vozduha vne pomeshhenij) i zdorov'e cheloveka. 24.10.2024 (in Russ.)] // [www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](http://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) (дата обращения: 15.01.2025).
7. ЮНИСЕФ. Защищая будущее детство: комплекс мер по защите детей от загрязнения воздуха в Европе и Центральной Азии. Сентябрь 2024 [YUNISEF. Zadyxayushheesya detstvo: kompleks mer po zashhite detej ot zagryazneniya vozduxa v Evrope i Central'noj Azii. Sentyabr' 2024 (in Russ.)] // www.unicef.org/kazakhstan/media/12261/file/Air%20pollution%20policy%20brief%20FINAL%20-%20RU.pdf (дата обращения: 15.01.2025).
8. Institute for Health Metrics and Evaluation. Air Pollution. [Internet] // www.healthdata.org/research-analysis/health-risks-issues/air-pollution. 15.01.2025
9. Программа развития ООН. Решение проблемы загрязнения воздуха и улучшения здоровья населения города Алматы с помощью мониторинга качества воздуха. 2022. [Programma razvitiya OON. Reshenie problemy zagryazneniya vozduxa i uluchsheniya zdorov'ya naseleniya goroda Almaty s pomoshh'yu monitoringa kachestva vozduxa. 2022 (in Russ.)] // www.undp.org/ru/kazakhstan/blog/reshenie-problemy-zagryazneniya-vozdrukha-i-uluchsheniya-zdorovya-naseleniya-goroda-almaty-s-pomoschyu-monitoringa-kachestva-vozdrukha (дата обращения: 29.05.2025).
10. Omarova A., Ibragimova O.P., Tursumbayeva M., Bukenov B., Tursun K., Mukhtarov R., Karaca F., Baimatova N. Emerging threats in Central Asia: Comparative characterization of organic and elemental carbon in ambient PM_{2.5} in urban cities of Kazakhstan // *Chemosphere.* – 2025. – Vol. 370. – Art. no. 143968. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143968>
11. IQAir. Air Quality in Kazakhstan [Internet] // www.iqair.com/us/kazakhstan (дата обращения: 15.01.2025).
12. The World Bank. Cleaner residential heating key to reducing air pollution in Kazakhstan's cities, says new World Bank study [Internet] // www.worldbank.org/en/news/press-release/2022/03/28/cost-effective-air-quality-management-in-kazakhstan (дата обращения: 15.01.2025).
13. Praud D., Deygas F., Amadou A., Bouilly M., Turati F., Bravi F., Xu T., Grassot L., Coudon T., Fervers B. Traffic-Related Air Pollution and Breast Cancer Risk: A Systematic Review and Meta-Analysis of Observational Studies // *Cancers (Basel).* – 2023. – Vol. 15(3). – P. 927. <https://doi.org/10.3390/cancers15030927>
14. White A.J., Bradshaw P.T., Hamra G.B. Air pollution and breast cancer: a review // *Curr. Epidemiol. Rep.* – 2018. – Vol. 5 (2). – P. 92–100. <https://doi.org/10.1007/s40471-018-0143-2>
15. Hu Y., Xiang J., Su L., Tang X. The Regulation of Nitric Oxide in Tumor Progression and Therapy // *J. Int. Med. Res.* – 2020. – Vol. 48. – Art. no. 0300060520905985. <https://doi.org/10.1177/0300060520905985>
16. Mandal P. Molecular Signature of Nitric Oxide on Major Cancer Hallmarks of Colorectal Carcinoma // *Inflammopharmacology.* – 2018. – Vol. 26. – P. 331–336. <https://doi.org/10.1007/s10787-017-0435-z>
17. Tippila J., Wah N.L.S., Akbar K.A., Bhummapan N., Wongsasulak P., Kallawicha K. Ambient air pollution exposure and breast cancer risk worldwide: a systematic review of longitudinal studies // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* – 2024. – Vol. 21 (12). – P. 1713. <https://doi.org/10.3390/ijerph21121713>
18. Ou J.Y., Hanson H.A., Ramsay J.M., Kaddas H.K., Pope C.A. 3rd, Leiser C.L., VanDerslice J., Kirchhoff A.C. Fine particulate matter air pollution and mortality among pediatric, adolescent, and young adult cancer patients // *Cancer Epidemiol. Biomarkers Prev.* – 2020. – Vol. 29 (10). – P. 1929–1939. <https://doi.org/10.1158/1055-9965.EPI-19-1363>
19. Amadou A., Praud D., Coudon T., Deygas F., Grassot L., Faure E., Couvidat F., Caudeville J., Bessagnet B., Salizzoni P., Gulliver J., Leffondré K., Severi G., Mancini F.R., Fervers B. Risk of breast cancer associated with long-term exposure to benzo[a]pyrene (BaP) air pollution: evidence from the French E3N cohort study // *Environ. Int.* – 2021. – Vol. 149. – Art. no. 106399. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106399>

20. Shmuel S., White A.J., Sandler D.P. Residential Exposure to Vehicular Traffic-Related Air Pollution during Childhood and Breast Cancer Risk // *Environ. Res.* – 2017. – Vol. 159. – P. 257-263. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.08.015>
21. Boogaard H., Patton A.P., Atkinson R.W., Brook J.R., Chang H.H., Crouse D.L., Fussell J.C., Hoek G., Hoffmann B., Kappeler R., Kutlar Joss M., Ondras M., Sagiv S.K., Samoli E., Shaikh R., Smargiassi A., Szpiro A.A., Van Vliet E.D.S., Vienneau D., Weuve J., Lurmann F.W., Forastiere F. Long-term exposure to traffic-related air pollution and selected health outcomes: A systematic review and meta-analysis // *Environ. Int.* – 2022. – Vol. 164. – Art. no. 107262. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107262>
22. Brunekreef B., Strak M., Chen J., Andersen Z.J., Atkinson R., Bauwelinck M., Bellander T., Boutron M.C., Brandt J., Carey I., Cesaroni G., Forastiere F., Fecht D., Gulliver J., Hertel O., Hoffmann B., de Hoogh K., Houthuijs D., Hvidtfeldt U., Janssen N., Jorgensen J., Katsouyanni K., Ketzel M., Klompmaker J., Hjertager Krog N., Liu S., Ljungman P., Mehta A., Nagel G., Oftedal B., Pershagen G., Peters A., Raaschou-Nielsen O., Renzi M., Rodopoulou S., Samoli E., Schwarze P., Sigsgaard T., Stafoggia M., Vienneau D., Weinmayr G., Wolf K., Hoek G. Mortality and Morbidity Effects of Long-Term Exposure to Low-Level PM_{2.5}, BC, NO₂, and O₃: An Analysis of European Cohorts in the ELAPSE Project // *Res. Rep. Health Eff. Inst.* – 2021. – Vol. 2021(208). – P. 1-127. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9476567/>
23. Ramamoorthy T., Nath A., Singh S., Mathew S., Pant A., Sheela S., Kaur G., Sathishkumar K., Mathur P. Assessing the Global Impact of Ambient Air Pollution on Cancer Incidence and Mortality: A Comprehensive Meta-Analysis // *JCO Glob. Oncol.* – 2024. – Vol. 10. – Art. no. e2300427. <https://doi.org/10.1200/GO.23.00427>
24. Pyo J.S., Kim N.Y., Kang D.W. Impacts of Outdoor Particulate Matter Exposure on the Incidence of Lung Cancer and Mortality // *Medicina.* – 2022. – Vol. 58(9). – Art. no. 1159. <https://doi.org/10.3390/medicina58091159>
25. Jiang F., Zhao J., Sun J., Chen W., Zhao Y., Zhou S., Yuan S., Timofeeva M., Law P.J., Larsson S.C., Chen D., Houlston R.S., Dunlop M.G., Theodoratou E., Li X. Impact of ambient air pollution on colorectal cancer risk and survival: insights from a prospective cohort and epigenetic Mendelian randomization study // *EBioMedicine.* – 2024. – Vol. 103. – Art. no. 105126. <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2024.105126>
26. Kim H.B., Shim J.Y., Park B., Lee Y.J. Long-Term Exposure to Air Pollutants and Cancer Mortality: A Meta-Analysis of Cohort Studies // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* – 2018. – Vol. 15(11). – Art. no. 2608. <https://doi.org/10.3390/ijerph15112608>
27. Pritchett N., Spangler E.C., Gray G.M., Livinski A.A., Sampson J.N., Dawsey S.M., Jones R.R. Exposure to Outdoor Particulate Matter Air Pollution and Risk of Gastrointestinal Cancers in Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis of Epidemiologic Evidence // *Environ. Health Perspect.* – 2022. – Vol. 130(3). – Art. no. 36001. <https://doi.org/10.1289/EHP9620>
28. Fu P., Li R., Sze S.C.W., Yung K.K.L. Associations between fine particulate matter and colorectal cancer: a systematic review and meta-analysis // *Rev. Environ. Health.* – 2023. – Vol. 39(3). – P. 447-457. <https://doi.org/10.1515/reveh-2022-0222>
29. Mukhamediev R.I., Symagulov A., Kuchin Y., Zaitseva E., Bekbotayeva A., Yakunin K., Assanov I., Levashenko V., Popova Y., Akzhalova A., Bastaubayeva S., Tabybaeva L. Review of Some Applications of Unmanned Aerial Vehicles Technology in the Resource-Rich Country // *Appl. Sci.* – 2021. – Vol. 11(21). – Art. no. 10171. <https://doi.org/10.3390/app112110171>
30. Kerimray A., Azbanbayev E., Kenessov B., Plotitsyn P., Alimbayeva D., Karaca F. Spatiotemporal variations and contributing factors of air pollutants in Almaty, Kazakhstan // *Aerosol Air Qual. Res.* – 2020. – Vol. 20. – P. 1340-1352. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2019.09.0464>

АНДАТПА

АУАНЫҢ ЛАСТАНУЫ ЖӘНЕ ОНКОЛОГИЯЛЫҚ АУРУЛАРДЫҢ ДАМУ ҚАУПІ: МЕТА-АНАЛИЗДЕРГЕ ШОЛУ

Г.С. Краснов¹, А.М. Гизатуллина², Т.А. Тастайбек^{1,2}, А.Т. Манишарипова¹, Р.И. Мухамедиев^{1,3}, А. Сызмагулов¹

¹Сатбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті, Алматы, Қазақстан Республикасы;

²Қазақстан-Ресей Медицина Университеті БҒҰ, Алматы, Қазақстан Республикасы;

³Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің Ақпараттық және есептеу технологиялары институты, Алматы, Қазақстан Республикасы

Өзектілігі: Созылмалы және онкологиялық аурулардың дамуына әсері үшін Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымы тарапынан жаһандық қауіп ретінде танылған ауаның ластануы, ластану деңгейі рұқсат етілген шектерден айтарлықтай асып түсетін және әсіресе осал халық топтары үшін қауіп төндіретін Алматы секілді мегаполистерде ерекше алаңдаушылық тудырады.

Зерттеудің мақсаты – бұл зерттеудің мақсаты Ауаның ластануының Қазақстан Республикасы үшін неғұрлым өзекті болып табылатын онкологиялық аурулардың әртүрлі түрлерінің даму қаупіне әсеріне арналған мета-талдауларға жүйелі шолу болып табылады.

Әдістері: Жүйелі шолу PubMed, Web of Science, Scopus, Embase және Cochrane Library дерекқорларындағы 2000 жылдан 2025 жылғы 18 ақпанға дейінгі кезеңде жарияланған еңбектер негізінде жасалды. Ауаны ластаушы заттардың (PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂, SO₂, O₃, VOCs және т.б.) қатерлі ісікпен байланысын зерттейтін мета-талдаулар ғана қамтылды. Талдау үшін салыстырмалы тәуекел параметрлері (RR) және ластаушы заттардың концентрациясы алынды.

Нәтижелері: Шолу ауаны ластаушы заттардың әсері мен бірқатар онкологиялық аурулардың даму қаупінің жоғарылауы арасындағы айтарлықтай корреляцияны анықтады. Ластаушы заттардың қатерлі ісік қаупіне әсері ұсынылған.

Қорытынды: Ауаның ластануы қатерлі ісік пен қатерлі ісік ауруынан болатын өлім-жітімнің маңызды қауіп факторы ретінде танылды. Осыған байланысты тұрғын және жұмыс орындарындағы ауа сапасын бақылау және жақсарту үшін IT - және hardware шешімдерін енгізуді қоса алғанда, мемлекеттік және жеке экологиялық шараларды әзірлеу талап етіледі.

Түйінді сөздер: ауаның ластануы, онкологиялық аурулар, қатерлі ісік даму қаупі, мета-талдау, PM_{2.5}, NO₂, Қазақстан.

ABSTRACT

AIR POLLUTION AND CANCER RISKS: A REVIEW OF META-ANALYSES

G.S. Krasnov¹, A.M. Gizatullina², T.A. Tastaibek^{1,2}, A.T. Mansharipova¹, R.I. Mukhamediyev^{1,3}, A. Symagulov¹

¹Satbayev University, Almaty, the Republic of Kazakhstan;

²Kazakhstan-Russian Medical University, Almaty, the Republic of Kazakhstan;

³Institute of Information and Computational Technologies of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan, Almaty, the Republic of Kazakhstan

Relevance: Air pollution, recognized by the World Health Organization as a global threat due to its contribution to the development of chronic and oncological diseases, is of particular concern in megacities such as Almaty, where pollution levels significantly exceed acceptable norms and pose a serious risk to vulnerable population groups.

The study aimed to systematically review meta-analyses focused on the effect of air pollution on the risk of developing various types of cancer, most relevant to the Republic of Kazakhstan.

Methods: This systematic review included publications from the PubMed, Web of Science, Scopus, Embase, and Cochrane Library databases from 2000 to February 18, 2025. Only meta-analyses were included to investigate the association of air pollutants (PM2.5, PM10, NO2, SO2, O3, VOCs, and others) with cancer. Relative risk (RR) parameters and pollutant concentrations were extracted for the analysis.

Results: The review revealed significant correlations between exposure to air pollutants and an increased risk of developing several cancers. The effect of pollutants on the risk of cancer is presented.

Conclusion: Air pollution is recognized as a significant risk factor for cancer and cancer mortality. In this regard, it is necessary to develop state and individual environmental measures, including the implementation of IT and hardware solutions for monitoring and improving air quality in residential and workspaces.

Keywords: air pollution, cancer, cancer risk, meta-analysis, PM2.5, NO2, Kazakhstan.

Прозрачность исследования: Авторы несут полную ответственность за содержание данной статьи.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № BR21881908 «Комплекс экологического сопровождения городской агломерации»).

Вклад авторов: вклад в концепцию – Краснов Г.С.; научный дизайн, интерпретация заявленного научного исследования – Краснов Г.С., Гизатуллина А.М., Тастайбек Т.А.; исполнение заявленного научного исследования – Маншарипова А.Т., Мухамедиев Р.И., Сымагулов А.; создание научной статьи – все авторы.

Сведения об авторах:

Краснов Г.С. (корреспондирующий автор) – врач-гериатр, научный консультант, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, Алматы, Республика Казахстан, тел. +77058035513, e-mail: gleb.krasnov@dozator.io, ORCID: 0000-0002-7622-5850;

Гизатуллина А.М. – преподаватель кафедры МЧС, НУО «Казахстанско-Российский медицинский университет», Алматы, Республика Казахстан, e-mail: aliushag@yahoo.com, тел. +77085175425, ORCID: 0000-0002-5913-9651;

Тастайбек Т.А. – магистрант 2 года обучения, НУО «Казахстанско-Российский медицинский университет», Алматы, Республика Казахстан, e-mail: tasstaiibek@mail.ru, тел. +7707-675-58-75, ORCID: 0009-0004-6569-0484;

Маншарипова А.Т. – доктор медицинских наук, профессор кафедры «Общая врачебная практика», НУО «Казахстанско-Российский медицинский университет», Алматы, Республика Казахстан, e-mail: dralma@mail.ru, тел. +77017604752, ORCID: 0000-0002-5318-0995;

Мухамедиев Р.И. – доктор инженерных наук, профессор кафедры «Программная инженерия» КазННТУ им. К.И. Сатпаева, Институт информационных и вычислительных технологий МНВО РК, Алматы, Республика Казахстан, e-mail: ravil.muhamedyev@gmail.com, тел. +77772418672, ORCID: 0000-0002-3727-043X;

Сымагулов А. – бакалавр естественных наук, инженер-программист, КазННТУ им. К.И. Сатпаева Казахстан, e-mail: asmogulove00@gmail.com, тел. +77078194700, ORCID: 0000-0001-9974-3215.

Адрес для корреспонденции: Краснов Г.С., Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, ул. Сатпаева 22, Алматы 050043, Республика Казахстан.