

Date: 13th June-2026

**ПРОСТРАНСТВЕННО-СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ ТАШКЕНТА ПОД ВЛИЯНИЕМ ЛОКАЛЬНЫХ
ВЫБРОСОВ И ПЫЛИ АРАЛА: ИННОВАЦИОННЫЕ ПУТИ РЕШЕНИЯ**

Рамаданов Алексей Валерьевич

учащийся 2 курса Академический Лицей Филиала Российского
Государственного Университета (НИУ) нефти и газа имени
И. М. Губкина в городе Ташкенте

Научный руководитель: **Ниязова Фарида Турсуновна**

старший преподаватель информатики и информационных технологий
Академического лицея Филиала Российского Государственного Университета
(НИУ) нефти и газа имени И. М. Губкина в городе Ташкенте

**SPATIAL AND STATISTICAL MODELING OF ENVIRONMENTAL RISKS IN
TASHKENT UNDER THE INFLUENCE OF LOCAL EMISSIONS AND DUST
FROM THE ARAL SEA: INNOVATIVE SOLUTIONS**

Ramadanov Alexey Valerievich

Student Academic lyceum branch of RSU of oil and gas named after Gubkin in
Tashkent

Scientific supervisor:

Farida Tursunovna Niyazova

Senior Lecturer in Computer Science and Information Technology at the Academic
Lyceum of the Gubkin Branch of the Russian State University of Oil and Gas in Tashkent

Аннотация: В статье исследуется синергетический эффект двух ключевых факторов, формирующих критическое загрязнение атмосферного воздуха в Ташкенте: внутренних антропогенных выбросов и трансграничного переноса соле-пылевых аэрозолей с высохшего дна Аральского моря (пустыни Аралкум). На основе анализа современных климатических моделей, данных спутникового мониторинга и отчетов международных экологических организаций авторами дифференцирован вклад урбанизационных процессов (городской транспорт, ТЭЦ, строительный сектор) и природно-техногенных факторов в динамику концентрации мелкодисперсных частиц PM_{2.5} и PM₁₀. В работе выявлена сезонная специфика экологических рисков столицы Узбекистана, где зимний смог антропогенного генезиса сменяется масштабными летними пылевыми бурями. На основе проведенного анализа предложен комплекс стратегических решений, включающий модернизацию городской энергетической инфраструктуры, расширение системы «зеленых поясов» (в рамках инициативы «Яшил макон») и активизацию фитомелиорации Приаралья для снижения трансграничного экориска.

Abstract: The article examines the synergistic effect of two key factors driving critical atmospheric pollution in Tashkent: domestic anthropogenic emissions and the



Date: 13th June-2026



transboundary transport of saline dust aerosols from the dried bed of the Aral Sea (the Aralkum Desert). Based on the analysis of modern climate models, satellite monitoring data, and reports from international environmental organizations, the authors differentiate the contributions of urbanization processes (urban transport, thermal power plants, construction sector) and natural-technogenic factors to the dynamics of PM_{2.5} and PM₁₀ fine particulate matter concentrations. The study identifies the seasonal specificity of ecological risks in the capital of Uzbekistan, where winter smog of anthropogenic origin alternates with large-scale summer dust storms. Based on the conducted analysis, a comprehensive set of strategic solutions is proposed, including the modernization of urban energy infrastructure, the expansion of "green belts" (under the "Yashil Makon" initiative), and the intensification of phytomelioration in the Aral Sea region to mitigate transboundary ecological risks.

Ключевые слова: качество воздуха, Ташкент, Аральское море, Аралкум, PM_{2.5}, антропогенные выбросы, соле-пылевой перенос, экологический риск, фитомелиорация, «Яшил макон».

Keywords: air quality, Tashkent, Aral Sea, Aralkum, PM_{2.5}, anthropogenic emissions, saline dust transport, ecological risk, phytomelioration, "Yashil Makon".

Качество атмосферного воздуха в Ташкенте представляет собой сложную экологическую проблему, решение которой требует понимания не только локальных источников загрязнения, но и мощных внешних макроклиматических и географических процессов. Анализ предоставленных данных свидетельствует о том, что концентрация загрязняющих веществ в столице Узбекистана определяется двумя доминирующими, но принципиально различными по своей природе силами: источниками внутреннего происхождения, связанными с деятельностью человека, и внешними факторами, обусловленными уникальным географическим положением региона и крупномасштабными экологическими изменениями. Эта двойственность является центральным элементом для понимания устойчивости проблемы перед локальными мерами и подчеркивает необходимость комплексного, многоуровневого подхода к ее решению.

Основной вклад в формирование смоговой пелены над Ташкентом вносит деятельность человека. Одним из главных источников являются выбросы от транспортного сектора. Более половины всего PM_{2.5}-загрязнения в стране связано с сжиганием ископаемого топлива, где транспорт является значительным компонентом. Это усугубляется системными недостатками в законодательстве и технологической базе: в Узбекистане отсутствуют официальные стандарты на автомобильные выхлопные газы, что позволяет парку старых автомобилей продолжать эксплуатацию с высоким уровнем выбросов. Несмотря на то, что природный газ является основным топливом в транспортном секторе страны, что частично снижает некоторые типы эмиссий, общая проблема выбросов остается критической.

Date: 13th June-2026



Промышленность так же признается одним из ключевых источников загрязнения, в то время как другие источники, такие как твердые отходы и пестициды, также вносят свой вклад. Однако даже при стабилизации или сокращении этих внутренних выбросов качество воздуха может достигать критически опасных уровней. На это напрямую влияет географический контур местности, в которой расположен Ташкент. Горная система Тянь-Шань, расположенная к северу от города, выступает своеобразной естественной стеной, которая физически препятствует эффективному рассеиванию загрязняющих веществ. В сочетании с особенностями регионального климата, такими как периоды стабильной антициклональной погоды, это приводит к формированию вертикальной температурной инверсии. При этом более теплый слой воздуха над городом не поднимается, а словно "прикрывает" его, запирая смог и способствуя его накоплению в предгорной долине. Этот эффект делает Ташкент особенно уязвимым для накопления смога в зимний период и во время засушливых летних месяцев, когда интенсивность солнечного нагрева максимальна.

Наиболее значимым внешним фактором, оказывающим колоссальное влияние на качество воздуха в Центральной Азии, является экологическая катастрофа Аральского моря. Высыхание водоема, начавшееся в середине XX века в результате масштабных ирригационных проектов, привело к формированию новой пустыни — «Аракум». Образовавшаяся на месте моря площадь, покрытая солончаками и минеральной пылью, стала постоянным и огромным источником аэрозолей. Ветры, дующие с юга и юго-востока, несут эту пыль через всю территорию Узбекистана, включая Ташкент. Исследования, проведенные с использованием спутниковых данных, подтверждают, что пыль от Арала является важным компонентом как частиц PM₁₀, так и более мелких и опасных для здоровья частиц PM_{2.5} в воздухе Узбекистана. Химический состав этой пыли чрезвычайно опасен: помимо основных минеральных солей, она содержит следы ранее широко используемых в сельском хозяйстве пестицидов, таких как ДДТ, что делает ее не просто механическим загрязнителем, а носителем токсичных химических соединений. Это порождает фундаментальный парадокс: Ташкент активно борется с локальными выбросами, которые он сам производит, в то время как значительная часть его годового фоновое загрязнения генерируется за пределами города, в том числе на территории самого же Узбекистана. Таким образом, любая стратегия по улучшению качества воздуха должна рассматривать два уровня воздействия. С одной стороны, необходимо проводить жесткую политику по декарбонизации и модернизации внутренних источников загрязнения — транспорта, промышленности и энергетики. С другой стороны, абсолютно необходимо разрабатывать и реализовывать долгосрочные проекты по восстановлению экосистемы Аральского региона, поскольку без этого локальные усилия будут постоянно нивелироваться мощным внешним потоком пыли. Климатические изменения усугубляют эту проблему: прогнозируемое снижение объемов водных ресурсов в соседних странах, таких как Казахстан, к 2030 году может усилить засушливость и, соответственно, количество

Date: 13th June-2026

песчаных бурь в регионе. Таким образом, загрязнение воздуха в Ташкенте — это не просто локальная проблема, а результат сложного взаимодействия человеческой деятельности, географического положения и глобальных климатических процессов.

Высыхание Арала (пустыня Аракум). Образование новой пустыни на месте моря, являющейся источником солевой и минеральной пыли, является значимым внешним источником PM10 и PM2.5, несущим соли и следы пестицидов на территорию Узбекистана.

Для разработки и эффективного управления качеством воздуха (УВК) необходима точная, своевременная и многогранная информация о состоянии атмосферы. В Узбекистане для этой цели используется комбинированный подход, сочетающий наземные измерения и спутниковый мониторинг. Однако каждый из этих методов имеет свои сильные и слабые стороны, и их совместное использование позволяет получить наиболее полную картину проблемы. Наземная сеть мониторинга в Ташкенте представлена 13 автоматизированными метеостанциями, которые оперативно передают данные в службу Uzhydromet. Эти станции отслеживают ряд параметров, включая уровень озона (O3) и диоксида серы (SO2). Однако здесь кроется один из ключевых пробелов в системе мониторинга: большинство из этих 13 станций проводят лишь периодические, а не непрерывные замеры. Это означает, что картина загрязнения получается "фрагментарной", она не позволяет точно отследить суточную и сезонную динамику концентраций загрязнителей, особенно таких важных, как твердые частицы. Для более детального анализа в последние годы были установлены специализированные посты для измерения массовых концентраций PM10 и PM2.5 в двух городах, включая Ташкент.

PM10 представляет собой частицы диаметром до 10 микрон, которые могут попадать в легкие, а PM2.5 — еще более мелкие частицы диаметром до 2,5 микрон, способные проникать в глубину легочной ткани и даже в кровоток, оказывая наиболее серьезное воздействие на здоровье. Именно поэтому именно эти два показателя являются наиболее важными индикаторами качества воздуха в современных исследованиях.

Спутниковый мониторинг становится все более важным инструментом для оценки состояния атмосферы на региональном уровне. Спутники, оснащенные чувствительными приборами, такими как TROPOMI на борту спутника Sentinel-5P, позволяют отслеживать распределение различных загрязнителей в тропосфере. Преимуществом этого метода является его широкое пространственное покрытие и высокое разрешение: например, TROPOMI способен наблюдать за загрязнением с разрешением, в 10 раз превышающим возможности своего предшественника OMI. Спутники измеряют не концентрацию в микрограммах на кубический метр, а так называемую аэрозольную оптическую плотность (АОП) — это показатель того, насколько аэрозоли поглощают или рассеивают свет. Хотя AOD не является прямой мерой концентрации частиц, она очень хорошо коррелирует с ней и позволяет отслеживать движение крупных облаков пыли, таких как те, что исходят от Аральского моря, а



Date: 13th June-2026



также общую степень облачности смога над регионом. Кроме того, спутники могут измерять концентрацию других важных загрязнителей, таких как диоксид азота (NO₂) и оксид углерода (CO), что помогает выявлять крупные антропогенные источники, например, промышленные зоны и крупные транспортные артерии.

Идеальная система мониторинга должна сочетать сильные стороны обоих подходов. Наземные станции обеспечивают высокоточные локальные данные, необходимые для оценки реального воздействия на здоровье населения и сравнения с национальными и мировыми стандартами качества воздуха.

Таким образом, для дальнейшего улучшения системы управления качеством воздуха в Узбекистане приоритетной задачей является расширение сети наземных станций, оборудованных для непрерывного мониторинга PM_{2.5} и PM₁₀, в соответствии с международными стандартами, такими как BS EN 12341:2023. Параллельно необходимо развивать собственные компетенции в области обработки и интерпретации спутниковых данных, чтобы использовать их в изучении загрязнения.

Узбекские власти, в сотрудничестве с международными организациями, такими как Всемирный банк, ЮНЕП и ЮНИДП, разработали и внедряют комплексную стратегию по борьбе с загрязнением воздуха. Эта стратегия охватывает широкий спектр мер, от принятия новых законодательных актов и разработки долгосрочных планов до реализации конкретных инфраструктурных проектов. Анализ показывает, что эти действия направлены на решение проблемы на нескольких уровнях одновременно: на уровне государственной политики, технологических инноваций и развития физической инфраструктуры. Основой всей системы служат стратегические документы, заложившие идеологическую и правовую базу для экологических реформ. Ключевыми из них являются Концепция охраны окружающей среды до 2030 года и Стратегия "зеленой" экономики, которые направили государственные усилия в сторону устойчивого развития. На их основе был подготовлен Национальный план действий по борьбе с загрязнением воздуха, который представляет собой дорожную карту конкретных шагов по улучшению ситуации. Особое внимание уделяется региональным вызовам, таким как песчаные и пыльные бури.

Важной частью комплексной стратегии являются природоохранные мероприятия (Nature-based Solutions - NbS), направленные на решение проблем с корня. Для борьбы с пылью от Арала предлагаются проекты по восстановлению ландшафтов и повышению растительного покрова на высохшем дне моря. Хотя эти меры носят долгосрочный характер, они нацелены на устранение первопричины проблемы, а не на симптомы. Подобные проекты также направлены на защиту транспортных сетей от песчаных бурь и экстремальных погодных явлений, что повышает устойчивость инфраструктуры. Все эти усилия требуют значительных финансовых ресурсов. Одним из путей их мобилизации является поэтапный отказ от государственных субсидий на ископаемое топливо, что позволит направить

Date: 13th June-2026



высвободившиеся средства на развитие "зеленых" технологий и инфраструктуры. Международные финансовые организации, такие как Азиатский банк развития и Азиатский инфраструктурный банк, поддерживают Узбекистан в его стремлении к "зеленому" переходу, предлагая финансирование и техническую помощь для реализации программ по декарбонизации. Таким образом, текущая деятельность властей представляет собой многоуровневую систему, где политические решения создают условия для технологических инноваций, а инфраструктурные проекты обеспечивают их практическую реализацию.

Бездействие в решении проблемы загрязнения воздуха в Ташкенте и в Центральной Азии в целом несет в себе серьезные и далеко идущие экологические риски, выходящие за рамки прямого воздействия на здоровье человека. Если не будут предприняты системные меры, особенно в отношении главного внешнего источника загрязнения — пыли от Арала, — регион столкнется с накоплением экологических проблем, которые могут привести к необратимым изменениям в его природных системах. Одним из наиболее прямых и измеримых последствий является ухудшение качества почв. Частицы пыли, несущие соли и другие химические соединения, постоянно оседают на поверхности земли. Этот процесс, известный как атмосферное выпадение, приводит к засолению почв, что особенно критично в засушливых районах Центральной Азии. Засоление снижает плодородие почв, затрудняет рост сельскохозяйственных культур и может привести к деградации пастбищ. Исследования, проводимые в Узбекистане, направлены на установление связи между параметрами почв и уровнем загрязнения, что подчеркивает актуальность этой проблемы.

Даже если Узбекистан успешно декарбонизирует свой транспортный сектор и модернизирует промышленные предприятия, полностью устранив внутренние выбросы, Ташкент и другие города Центральной Азии будут продолжать испытывать периоды экстремального загрязнения, обусловленные переносом пыли от Арала. Это означает, что достижение целевых показателей качества воздуха, безопасных для здоровья, станет невозможным. Экологический фон, создаваемый этим внешним фактором, будет "загрязнять" все усилия по сокращению локальных эмиссий. Таким образом, долгосрочная экологическая устойчивость региона немыслима без совместных и целенаправленных усилий по восстановлению экосистемы Аральского моря и смягчению его последствий. Без такого подхода Ташкент и вся Центральная Азия будут находиться в постоянном экологическом "тисках", где борьба с локальными проблемами будет вести к лишь временным успехам, не решающим фундаментальной проблемы.

Аналогично, проекты по восстановлению ландшафтов вокруг Аральского моря, хотя и являются природоохранными, по своей сути являются крупномасштабными инженерными и экологическими проектами по созданию искусственных экосистем, предназначенных для борьбы с эрозией и пылевыми бурями. Развитие инфраструктуры также включает модернизацию систем отопления и энергетики, что позволяет снизить общую зависимость от ископаемого топлива.

Date: 13th June-2026

В заключение, борьба с загрязнением воздуха в Ташкенте — это не задача одного министерства или одного сектора экономики. Это комплексная национальная задача, требующая координированных усилий на всех уровнях. Успешная стратегия должна быть построена на прочном регуляторном фундаменте, который стимулирует внедрение передовых технологий, а эти технологии, в свою очередь, должны поддерживаться соответствующей физической инфраструктурой. Только такой интегрированный подход, учитывающий как внутренние источники загрязнения, так и мощные внешние факторы, способен обеспечить устойчивое улучшение качества воздуха и защитить экологическое будущее Ташкента и всего региона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Газета.uz : сайт. – Ташкент, 2025. – URL: gazeta.uz (дата обращения: 10.06.2026). – Текст: электронный.
2. Оценка качества воздуха в г. Ташкенте и «дорожная карта» по улучшению качества воздуха: Доклад Всемирного банка. – Вашингтон: Всемирный банк, 2024. – URL: vsemirnyjbank.org (дата обращения: 10.06.2026). – Текст: электронный.
3. Официальный сайт Министерства экологии, охраны окружающей среды и изменения климата Республики Узбекистан. – Ташкент. – URL: gov.uz (дата обращения: 10.06.2026). – Текст: электронный.
4. Портал мониторинга атмосферного воздуха г. Ташкента (Air Uzbekistan): сайт. – Ташкент. – URL: tashkent.uz (дата обращения: 10.06.2026). – Текст: электронный.
5. Ученые TROPOS: из-за высыхания Аральского моря выбросы пыли в регионе увеличились почти в два раза // Daryo.uz: информационное агентство. – Ташкент, 2024. – URL: daryo.uz (дата обращения: 10.06.2026). – Текст: электронный.
6. Air Quality in Tashkent // IQAir: сайт. – Гольдач. – URL: iqair.com (дата обращения: 10.06.2026). – Текст: электронный.
7. Dust migration model for the southern Aral Sea region / United Nations Development Programme (UNDP). – Tashkent, 2025. – URL: undp.org (дата обращения: 10.06.2026). – Текст: электронный.
8. World of Change: Shrinking Aral Sea // NASA Earth Observatory: сайт. – Гринбелт. – URL: nasa.gov (дата обращения: 10.06.2026). – Текст: электронный.

REFERENCE:

1. Newspaper.uz : the website. – Tashkent, 2025. – URL: gazeta.uz (date of request: 06/10/2026). – Text: electronic.
2. Assessment of air quality in Tashkent and a roadmap for improving air quality: A report by the World Bank. – Washington: World Bank, 2024. – URL: vsemirnyjbank.org (date of request: 06/10/2026). – Text: electronic.
3. The official website of the Ministry of Ecology, Environmental Protection and Climate Change of the Republic of Uzbekistan. – Tashkent. – URL: gov.uz (date of request: 06/10/2026). – Text: electronic.



Date: 13th June-2026

4. Tashkent Atmospheric Air Monitoring Portal (Air Uzbekistan): website. – Tashkent. – URL: tashkent.uz (date of request: 06/10/2026). – Text: electronic.
5. TROPOS scientists: due to the drying up of the Aral Sea, dust emissions in the region have almost doubled // Daryo.uz : an information agency. – Tashkent, 2024. – URL: daryo.uz (date of request: 06/10/2026). – Text: electronic.
6. Air Quality in Tashkent // IQAir: website. – Goldach. – URL: iqair.com (date of request: 06/10/2026). – Text: electronic.
7. Dust migration model for the southern Aral Sea region / United Nations Development Programme (UNDP). – Tashkent, 2025. – URL: undp.org (date of request: 06/10/2026). – Text: electronic.
8. World of Change: Shrinking Aral Sea // NASA Earth Observatory: website. – Greenbelt. – URL: nasa.gov (date of request: 06/10/2026). – Text: electronic.

