

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени доктора философии Ph.D. по специальности 8D050204 - «Метеорология»

Турсумбаевой Мадины Оразгазиевны

на тему: «Влияние метеорологических условий на загрязнение атмосферного воздуха в крупных городах Казахстана»

Общая характеристика работы. Диссертация направлена на анализ влияния метеорологических условий на концентрации $PM_{2.5}$ в атмосферном воздухе.

Актуальность темы исследования.

Загрязнение атмосферного воздуха мелкодисперсными частицами $PM_{2.5}$ (диаметром 2,5 микрометра или менее) представляет собой серьезную проблему, привлекающую внимание научных сообществ. Повышенный интерес к $PM_{2.5}$ обусловлен его вредным воздействием на здоровье человека. $PM_{2.5}$ является одним из ведущих факторов глобальной смертности и ассоциируется с заболеваниями дыхательной и сердечно-сосудистой систем, а также имеет значительное влияние на климат, воздействуя на формирование облачности и радиационный баланс в атмосфере.

В настоящее время города Центральной Азии представляют собой одни из наиболее проблемных по уровню загрязнения воздуха в мире. В 2021 по данным рейтинга IQAir, Таджикистан, Кыргызстан, Узбекистан, Казахстан и Туркменистан заняли 4-е, 7-е, 12-е, 23-е и 44-е места в мире по уровню загрязнения $PM_{2.5}$, соответственно. Однако, уровень загрязнения $PM_{2.5}$ в крупных городах Центральной Азии не соответствует их численности населения по сравнению с мировыми столицами. Так, например, соотношение концентраций $PM_{2.5}$ на миллион населения в городах Центральной Азии варьировалось от 16,85 (в Алматы) до 66,85 (Душанбе), тогда как в других столицах колебалось от 0,95 до 3,75. Это подчеркивает необходимость проведения комплексных исследований для выявления причин и факторов, влияющих на качество воздуха в этих городах.

Сезонные и пространственные колебания загрязнителей, а также их основные источники являются одними из необходимых данных, необходимых для принятия эффективных мер и установления необходимой нормативно-правовой базы и законодательства для сокращения выбросов загрязняющих веществ и защиты здоровья населения. Для всесторонней оценки загрязнения воздуха $PM_{2.5}$ первоочередным шагом является проведение количественной оценки его основных факторов. Антропогенные выбросы широко рассматриваются как основной фактор, влияющие на концентрации $PM_{2.5}$. Однако, при стабильности выбросов метеорологические условия играют ключевую роль в формировании эпизодов загрязнения, т.к. могут определять, насколько эффективно воздушные массы рассеивают загрязняющие вещества или, наоборот, аккумулируют их в определенных районах.

Зарубежные исследования показывают, что множество метеорологических факторов, включая температуру воздуха, скорость ветер, влажность, осадки, солнечную радиацию, атмосферное давление и высоту пограничного слоя

атмосферы, тесно связаны с концентрациями $PM_{2.5}$. Помимо локальных выбросов и влияющих на них метеорологических условий, возможен также региональный перенос загрязнителей воздуха. В Казахстане, несмотря на серьезность проблемы качества воздуха, исследования по влиянию метеорологических параметров на концентрации загрязняющих веществ остаются ограниченными или не проводились. Таким образом, изучение зависимостей между метеорологическими параметрами и концентрациями $PM_{2.5}$ в больших городах Казахстана представляет собой актуальное направление в науке, поскольку результаты таких исследований могут послужить основой для прогнозирования уровня загрязнения и разработки устойчивых стратегий управления качеством воздуха.

Цель работы – анализ временных изменений концентрации $PM_{2.5}$ в крупных городах Казахстана и изучение влияния метеорологических параметров на концентрации $PM_{2.5}$.

В соответствии с целью работы были поставлены следующие **задачи**:

1. Изучить временные вариации (годовые, сезонные, ежемесячные, суточные и ежечасные) концентраций $PM_{2.5}$ в крупных городах Казахстана (Алматы, Астана) и сравнить их с другими городами Центральной Азии (Ашхабад, Бишкек, Душанбе Ташкент).

2. Определить основные источники $PM_{2.5}$ в воздухе в крупных городах Казахстана.

3. Исследовать влияние метеорологических параметров, таких как температура воздуха, осадки, скорость ветра, относительная влажность и высота пограничного слоя атмосферы, на уровень концентрации $PM_{2.5}$.

4. Оценить характерные траектории воздушных масс во время эпизодов с высокими концентрациями $PM_{2.5}$ в городах Алматы и Астана.

5. Оценить влияние карантинных мер, связанных с пандемией COVID-19, на изменение качества воздуха в городах Центральной Азии.

Объекты исследования – концентрации $PM_{2.5}$ в атмосферном воздухе в крупных городах Казахстана.

Предмет исследования – влияние метеорологических параметров на изменение концентраций $PM_{2.5}$ в атмосферном воздухе крупных городов Казахстана.

Источники материалов исследования

Архивные материалы, включая данные загрязняющих веществ ($PM_{2.5}$, TSP, NO_2 , SO_2 , CO), полученные мониторинговыми станциями РГП «Казгидромет» и посольства США; метеорологические данные с метеорологических и аэрологических станций РГП «Казгидромет»; сведения о высоте пограничного слоя атмосферы по данным реанализа ERA5; данные по страновым выбросам загрязняющих веществ (SO_2 , NO_x и CO), полученных из глобального реестра выбросов Базы данных выбросов для глобальных атмосферных исследований (EDGAR); траектории воздушных масс, рассчитанные с помощью модели Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory (HYSPLIT).

Методы исследования

В ходе выполнения диссертационной работы был проведен анализ временных вариаций $PM_{2.5}$ в городах Алматы, Астана, Ашхабад, Бишкек, Душанбе,

Ташкент. Влияние метеорологических параметров на концентрации $PM_{2.5}$ оценивалось с использованием корреляционных анализов: Convergent Cross Mapping (CCM) и линейная корреляция Пирсона. Соответствующие вычисления выполнялись с использованием библиотек `causal-ccm` (v. 0.3.3) и `scipy` (v. 1.8.1) в Python 3.10. Для вычисления высоты пограничного слоя атмосферы были использованы два распространённых метода: объемное число Ричардсона (Ri) и метод повышения потенциальной температуры (ПТ), для которых требовались данные по профилям ветра, температуры и влажности. Для изучения возможного регионального переноса загрязняющих веществ воздуха, был проведен анализ 72-часовых обратных траектории воздушных масс с использованием модели гибридной одночастичной лагранжевой интегрированной траектории (HYSPLIT), разработанной Национальным управлением океанических и атмосферных исследований (NOAA). Анализ соотношений (SO_2/NO_x и CO/NO_x) с использованием данных о выбросах из EDGAR использовался для выявления источников загрязнения (стационарные или мобильные) в исследуемых городах.

Описание основных результатов исследования

1. Крупные города Центральной Азии подвержены серьезному загрязнению воздуха, характеризующемуся ежегодными концентрациями частицами $PM_{2.5}$, превышающие в 4,3-12,6 раза нормы, установленные Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ).

2. Высокий уровень загрязнения воздуха частицами $PM_{2.5}$ в городах Алматы и Астана обусловлен сезонным паттерном, совпадающим с интенсивным сжиганием угля. Кроме того, метеорологические параметры могут оказывать влияние на ограничение дисперсии загрязняющих веществ.

3. В официальных данных транспорт традиционно отмечается как значительный источник загрязнения воздуха. Однако, результаты исследования влияния локдауна COVID-19 на качество воздуха показывают, что данный сектор не был единственным основным фактором, влияющим на уровни загрязнения.

4. Метеорологические параметры оказывали значительное воздействие на концентрации $PM_{2.5}$, особенно в зимний и осенний периоды во всех изученных городах. Наблюдалась отрицательная корреляция между концентрациями $PM_{2.5}$ и температурой воздуха, скоростью ветра и осадками, в то время как положительная корреляция была выявлена с относительной влажностью.

5. Результаты кластерного анализа свидетельствуют о том, что большинство эпизодов с высокими концентрациями $PM_{2.5}$ в городе Алматы происходили при медленно движущихся воздушных массах, в то время как в г.Астана загрязняющие вещества могли транспортироваться из соседних промышленных городов, таких как Караганда и Павлодар.

6. Результаты исследования показали четкую отрицательную связь между среднесуточной концентрацией $PM_{2.5}$ и высотой пограничного слоя атмосферы (PBLH) в 12:00 UTC. Таким образом, высокие концентрации $PM_{2.5}$ в зимние месяцы ($94,0 \text{ мкг/м}^3$) соответствовали более низкому PBLH ($392,5 \text{ м}$), а низкие концентрации $PM_{2.5}$ в летние месяцы ($9,9 \text{ мкг/м}^3$) соотносились с более высокими значениями PBLH ($1969,4 \text{ м}$). В течение холодной половины года самые высокие 20% концентраций $PM_{2.5}$ наблюдались при более низком значении PBLH (менее

500 м над уровнем земли) и штилевых условиях ветра.

Новизна полученных результатов

Новизной исследования является комплексная оценка влияния метеорологических параметров на временные изменения концентраций $PM_{2.5}$ и на концентрации $PM_{2.5}$ с использованием современных статистических методов. В рамках данного исследования впервые проведен анализ высоты пограничного слоя атмосферы и ветровых характеристик на уровне загрязнения и изучены эпизоды с высокими концентрациями $PM_{2.5}$. В исследовании проведен анализ воздействия карантинных мер, принятых во время пандемии COVID-19, на уровень $PM_{2.5}$ в крупных городах Казахстана и Центральной Азии. Полученные результаты свидетельствуют о том, что снижение концентраций загрязнителей воздуха во время локдауна было незначительным, а в некоторых городах было наблюдалось увеличение. Кроме того, включение практических рекомендаций для улучшения качества воздуха в городах Казахстана, основанных на результатах анализа, придает исследованию практическую новизну и релевантность в контексте управления качеством воздуха.

Научно-практическая значимость исследовательской работы

Научно-практическая значимость данной работы заключается в получении новых научных знаний и данных, способствующих более глубокому пониманию механизмов загрязнения атмосферного воздуха мелкодисперсными частицами $PM_{2.5}$ и выявлении особенностей вклада метеорологических параметров на условия формирования эпизодов с высокими значениями $PM_{2.5}$. Рекомендации, полученные в результате исследований, могут быть использованы при разработке эффективных стратегий управления и контроля качества воздуха для обеспечения здоровья населения и устойчивого развития городов и регионов. Кроме того, исследование служит основой для проведения дальнейших исследований в области метеорологии и качества воздуха, включая использование математических моделей для разработки теоретических концепций и прогнозирования.

Обоснованность и достоверность полученных данных подтверждены с использованием нескольких статистических методов, таких как корреляционный анализ и кластерный анализ. Подробное описание использованных данных и методов позволяют воспроизводить результаты исследования.

Связь темы с планом научно-исследовательских работ и различными Государственными программами

Работа выполнялась в рамках финансирования проектов МНВО РК: «Комплексная оценка загрязнения воздуха в Алматы: определение источников, пространственно-временной анализ» на 2021-2023 гг. (AP09260359) и «Разработка исследовательской программы по улучшению качества воздуха в городах Нур-Султан и Алматы с использованием современных аналитических методов и инструментов моделирования» на 2021-2023 гг. (BR10965258).

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Уровни $PM_{2.5}$ в городах Центральной Азии превышают годовой лимит ВОЗ в 4,3–12,6 раз. В изученных городах используется устаревший метод составления инвентаризации выбросов загрязняющих веществ.
2. Локдаун COVID-19 не оказал значительного влияния на уровни

концентраций $PM_{2.5}$ в исследованных городах.

3. Медленно движущиеся воздушные массы характерны для эпизодов с высокими концентрациями $PM_{2.5}$ в г. Алматы (67%), в то время как воздух в г. Астана может быть подвержен воздействию соседних промышленных городов.

4. Средние суточные концентрации $PM_{2.5}$ имеют отрицательную корреляцию с высотой пограничного слоя атмосферы (PBLH), скоростью ветра в пограничном слое и коэффициентом вентиляции.

Апробация практических результатов работы

Основные результаты работы были представлены на следующих международных конференциях, семинарах и форумах: Международная конференция «Фараби Әлемі» (г. Алматы, 2021 г.); Asian Aerosol Conference (Тайбэй, Тайвань, 2022), Second Central Asian Air Quality Conference (Астана, 2023), 5th International Environmental Chemistry Congress (Анталия, Турция, 2023).

Публикации

Результаты выполненной работы отражены в 4 научных работах, в том числе Atmospheric Environment (Q1 по WoS, Impact factor 5.0, Перцентиль 93%), Urban Climate (Q1 по WoS, Impact factor 6,4, Перцентиль 95%), Aerosol and Air Quality Research (Q2 по WoS, Impact factor 4,0, Перцентиль 77%), Environmental Processes (Q3 по WoS, Impact factor 4,4, Перцентиль 75%),

Личный вклад докторанта в подготовку каждой статьи

В статьях «Cities of Central Asia: New hotspots of air pollution in the world» (Atmospheric Environment, 309, 119901, Q1WoS) и «Planetary Boundary Layer and its Relationship with $PM_{2.5}$ Concentrations in Almaty, Kazakhstan» (Aerosol and Air Quality Research, 22(8), 210294, Q2 WoS) Турсумбаева Мадина Оразгазиевна является первым автором. Докторант осуществлял обзор литературы по теме исследования, участвовал в проведении качественной и количественной оценки пространственно-временных изменений концентраций загрязняющих веществ и метеорологических параметров, подготовил первые варианты статей с описанием введения, методологии, результатов, заключения и оформлением графиков и участвовал в процессе редактирования финальных вариантов статей. Кроме того, Турсумбаева М.О. участвовала в оформлении статей в соответствии с требованиями журнала и в улучшении статей после каждого этапа рецензирования.

В статье «An episode-based assessment for the adverse effects of air mass trajectories on $PM_{2.5}$ levels in Astana and Almaty» (Urban Climate – 2022, 49, Q1WoS) Турсумбаева Мадина является автором. Турсумбаева М. принимала участие в проведении качественной и количественной оценки пространственно-временных изменений метеорологических параметров и $PM_{2.5}$, написании первых вариантов и в улучшении и доработке статьи. Также, Турсумбаева М.О. участвовала в оформлении статей в соответствии с требованиями журнала и в улучшении статьи после каждого этапа рецензирования.