



Гидрометеорология и экология

Научная статья

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В ПРОМЫШЛЕННЫХ ГОРОДАХ КАЗАХСТАНА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Арман О. Байсанов ¹, Игорь Ф. Спивак-Лавров ² д.ф.-м.н., Андрей А. Бебенин ³ к.т.н.

¹ Военный институт Сил Воздушной обороны имени Т.Я. Бегельдина, Актобе, Казахстан; arbaisanov@mail.ru (АОБ)

² Академический университет имени К. Жубанова, Актобе, Казахстан; spivakif@rambler.ru (ИФС-Л)

³ Национальный университет обороны Республики Казахстан, Астана, Казахстан; abebenin_77@mail.ru (ААБ)

*Автор корреспондент: Арман О. Байсанов, arbaisanov@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

атмосферный воздух,
загрязнение,
мониторинг,
промышленные города,
динамика изменений.

АБСТРАКТ

В статье проведён анализ изменений уровня загрязнения атмосферного воздуха в крупнейших промышленных городах Казахстана на основе данных государственного мониторинга окружающей среды за последние несколько лет. Рассмотрены концентрации основных загрязняющих веществ, включая диоксид серы (SO_2), диоксид азота (NO_2), а также взвешенные частицы PM2.5 и PM10. Применение комплексного подхода, сочетающего результаты стационарных наблюдений, статистическую обработку данных и пространственно-временной анализ, позволило выявить динамику изменения качества воздуха и определить наиболее проблемные регионы с повышенной экологической нагрузкой. Полученные результаты позволяют оценить эффективность реализуемых природоохранных мер и формируют основу для совершенствования системы мониторинга и управления качеством атмосферного воздуха в Казахстане. Практическая значимость исследования заключается в возможности использования выявленных закономерностей для прогнозирования и планирования экологической политики на региональном уровне.

1. ВВЕДЕНИЕ

По статье:

Получено: 24.11.2025
Пересмотрено: 22.12.2025
Принято: 24.12.2025
Опубликовано: 30.12.2025

В условиях роста промышленного производства и урбанизации Республика Казахстан сталкивается с нарастающей проблемой загрязнения атмосферного воздуха. Крупные промышленные города, такие как Караганда, Темиртау, Павлодар, Усть-Каменогорск и Актобе, характеризуются высокой концентрацией вредных веществ, обусловленной деятельностью металлургических, химических и энергетических предприятий. Загрязнение атмосферного воздуха оказывает прямое воздействие на здоровье населения, состояние экосистем и качество жизни, что делает необходимым проведение системного анализа динамики изменений уровня загрязнений на основе данных мониторинга окружающей среды.

Результаты аналогичных исследований представлены в работах [1...4], где показана связь между уровнем атмосферного загрязнения, промышленной нагрузкой, урбанизацией и сезонными метеорологическими факторами. Отмечается, что в промышленных агломерациях наблюдается устойчивое превышение концентраций взвешенных частиц и газообразных загрязнителей, особенно в холодный период года.

Современные методы наблюдения за состоянием атмосферного воздуха в Республике Казахстан опираются на сеть стационарных постов наблюдения, функционирующих под управлением РГП «Казгидромет». Однако данные традиционных

Для цитирования:

Байсанов А., Спивак-Лавров И., Бебенин А. Анализ изменений экологического загрязнения атмосферного воздуха в промышленных городах Казахстана на основе данных мониторинга окружающей среды // Гидрометеорология и экология, 120 (5), 2025, 57-65.

станций нередко имеют пространственные и временные ограничения, что затрудняет оперативную оценку загрязнений. В связи с этим актуальным становится использование комплексного подхода, сочетающего результаты наземных наблюдений и спутниковых данных.

Объектом исследования являются крупные промышленные города Республики Казахстан, а предметом - пространственно-временные изменения загрязнения атмосферного воздуха под воздействием антропогенных факторов.

Целью данной статьи является анализ изменений уровня загрязнения атмосферного воздуха в промышленных городах Республики Казахстан за период 2019...2024 гг. на основе данных официального мониторинга окружающей среды. В работе рассматриваются основные загрязняющие вещества, динамика их концентраций и пространственные различия по регионам, а также выявляются тенденции и возможные причины изменений.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В настоящем исследовании, охватывающем период 2019...2024 гг., использованы данные мониторинга атмосферного воздуха, предоставленные РГП «Казгидромет», а также результаты анализа годовых отчетов и научных публикаций, посвященных состоянию окружающей среды в промышленных городах Республики Казахстан [5...12]. Основное внимание уделялось концентрациям диоксида серы (SO_2), диоксида азота (NO_2), взвешенных частиц PM_{2.5} и PM₁₀, а также других ключевых загрязнителей воздуха.

Индекс качества воздуха (Air Quality Index, AQI) рассчитывался в соответствии с методикой Агентства по охране окружающей среды США (US EPA), основанной на нормализованных концентрациях приоритетных загрязняющих веществ (PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂, SO₂). Расчет AQI осуществлялся по максимальному из подиндексов отдельных загрязнителей в соответствии с рекомендациями US EPA. Полученные значения AQI интерпретировались согласно общепринятой шкале: 0...50 - «хорошее», 51...100 - «умеренное», 101...150 - «вредное для чувствительных групп», 151...200 - «вредное», 201...300 - «очень вредное», >300 - «опасное» качество воздуха.

Методы сбора данных:

Стационарные посты наблюдения РГП «Казгидромет» - ежедневные измерения концентраций загрязняющих веществ с использованием стандартных методик, регламентированных государственными нормами.

Анализ годовых отчетов и публикаций [6...15] для уточнения пространственно-временных тенденций загрязнений и оценки факторов урбанизации и промышленной нагрузки.

Спутниковые наблюдения (для некоторых городов) - использование данных NASA и Copernicus (программа непрерывных наблюдений за состоянием Земли, управляемая Европейской комиссией в сотрудничестве с государствами – членами Европейского союза и европейскими международными научными организациями) для оценки распределения аэрозолей и концентраций диоксида азота.

Методы обработки и анализа данных:

- статистический анализ временных рядов с вычислением среднегодовых и сезонных концентраций загрязняющих веществ;
- расчет индексов качества воздуха (AQI) для сравнительной оценки уровня загрязнения по городам;
- визуализация данных в виде графиков и тепловых карт для выявления пространственно-временных закономерностей;
- сравнение данных мониторинга с нормативными значениями для определения превышений предельно допустимых концентраций (далее ПДК).

Использование комплексного подхода позволило выявить основные тенденции изменения качества атмосферного воздуха в промышленных городах Республики Казахстан, определить районы с наибольшей нагрузкой и предложить направления для оптимизации системы мониторинга.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ данных мониторинга атмосферного воздуха в промышленных городах Казахстана за период 2019...2024 гг. показал устойчивые тенденции изменения концентраций основных загрязнителей.

Динамика концентраций загрязняющих веществ.

Диоксид серы (SO_2): среднегодовые концентрации колебались в диапазоне 15...45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Наиболее высокие значения фиксировались в Караганде и Темиртау, что связано с интенсивной металлургической деятельностью [2, 3].

Диоксид азота (NO_2): максимальные концентрации наблюдались в Алматы и Астане (20...35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), преимущественно в зимний период, что связано с отопительным сезоном и транспортными выбросами [1, 7].

Взвешенные частицы PM_{2.5} и PM₁₀: превышения ПДК отмечались во всех крупных городах, особенно в Алматы и Павлодаре. Среднегодовые концентрации PM_{2.5} достигали 25...35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, а PM₁₀ – 40...60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (таблица 1) [1, 4, 6].

Таблица 1

Среднегодовые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе (2019–2024 гг.)

| Город | $\text{SO}_2, \text{ мг}/\text{м}^3$ | $\text{NO}_2, \text{ мг}/\text{м}^3$ | $\text{PM}_{2.5}, \text{ мкг}/\text{м}^3$ | $\text{PM}_{10}, \text{ мкг}/\text{м}^3$ | AQI, ед. |
|------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---|--|----------|
| Караганда | 0,023 | 0,034 | 26 | 48 | 78 |
| Темиртау | 0,029 | 0,040 | 32 | 54 | 86 |
| Павлодар | 0,020 | 0,031 | 25 | 41 | 74 |
| Усть-Каменогорск | 0,035 | 0,038 | 35 | 56 | 90 |
| Актобе | 0,018 | 0,025 | 22 | 37 | 68 |
| Алматы | 0,027 | 0,045 | 39 | 63 | 95 |
| Астана | 0,022 | 0,030 | 28 | 44 | 76 |
| ПДК (ср.год.) | 0,05 | 0,04 | 25 | 40 | - |

Примечание: данные усреднены на основе годовых отчётов РГП «Казгидромет» и спутниковых наблюдений.

Например, значение AQI = 95, зафиксированное для г. Алматы, соответствует категории «умеренное качество воздуха» с потенциальными рисками для чувствительных групп населения.

Предельно допустимые концентрации (ПДК) приведены в соответствии действующими санитарными нормами Республики Казахстан (СанПиН по атмосферному воздуху населённых мест) и рекомендациями Всемирной организации здравоохранения и использовались для сопоставления фактических уровней загрязняющих веществ.

Пространственно-временные различия.

Пространственный анализ выявил выраженную неоднородность распределения загрязняющих веществ на территории рассматриваемых городов. Наибольшая экологическая нагрузка характерна для промышленных зон и крупных урбанизированных центров, где сосредоточены металлургические предприятия, теплоэнергетические комплексы и интенсивные транспортные потоки. В таких районах фиксируются повышенные концентрации PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂ и SO₂, что указывает на доминирующий вклад антропогенных источников в формирование общего фона загрязнения.

Темпоральный анализ показал наличие ярко выраженной сезонной динамики. Максимальные уровни загрязнения наблюдаются в зимний период, что обусловлено комплексом факторов:

- увеличением потребления топлива в бытовом секторе и на предприятиях;
- работой объектов теплоэнергетики на максимальной нагрузке;
- частыми проявлениями температурных инверсий, препятствующих вертикальному перемешиванию;
- низкими скоростями ветра, способствующими застойным явлениям в приземном слое атмосферы.

Эти условия создают благоприятную среду для накопления загрязнителей, что подтверждается устойчивым превышением концентраций взвешенных частиц и оксидов азота в городах Алматы, Караганда, Темиртау и Павлодар.

В летний период концентрации загрязнений, как правило, ниже за счёт усиленной турбулентности атмосферы и более интенсивных ветровых процессов. Однако в ряде индустриальных регионов (например, Усть-Каменогорск, Павлодар, Темиртау) могут наблюдаться локальные летние пики, связанные с увеличением производственной активности и фотохимическими процессами, влияющими на образование вторичных загрязнителей, таких как озон.

Таким образом, выявленные пространственно-временные закономерности подчёркивают необходимость использования комплексного подхода к мониторингу, включающего постоянные наблюдения, спутниковые данные и мобильные платформы. Это позволяет своевременно выявлять неблагополучные периоды и уточнять вклад различных источников загрязнения в формирование общего фона [9, 10].

На рисунке 1 представлено пространственное распределение уровней загрязнения атмосферного воздуха по взвешенным частицам PM2.5 и PM10 в рассматриваемых промышленных городах.

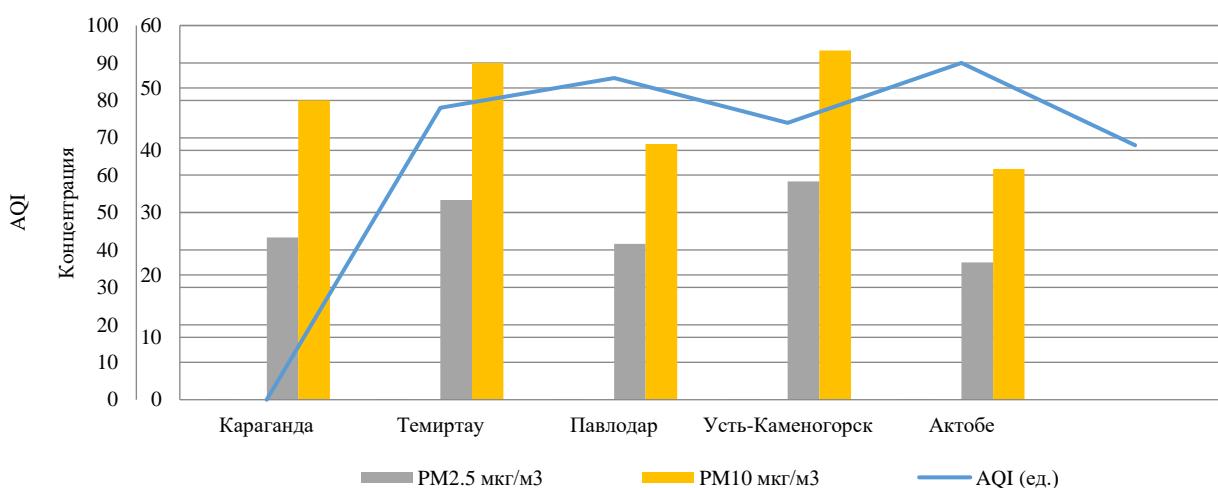


Рисунок 1. Загрязнение воздуха по городам (Комбинированная диаграмма) по взвешенным частицам PM2.5 и PM10

Сравнение с нормативными значениями.

Сопоставление фактических концентраций загрязняющих веществ с установленными нормативами показало наличие устойчивых превышений по ряду компонентов в нескольких крупных городах. Наиболее критичная ситуация наблюдается по мелкодисперсным взвешенным частицам PM2.5, средние уровни которых превышают предельно допустимые концентрации в таких городах, как Алматы, Павлодар и Караганда. Это обусловлено высокой плотностью транспортных потоков, особенностями

рельефа (в частности, замкнутостью котловины в Алматы) и интенсивными выбросами от стационарных источников в индустриальных центрах.

По содержанию диоксида азота (NO_2) отмечены превышения ПДК в Алматы и Астане, что отражает вклад автомобильного транспорта, а также влияние неблагоприятных метеорологических условий, препятствующих рассеиванию выбросов в периоды слабого ветра и температурных инверсий. В этих городах фиксируется значительная вариабельность концентраций NO_2 , сопряжённая с суточными и сезонными изменениями транспортной нагрузки.

Концентрации диоксида серы (SO_2) демонстрируют превышения нормативов преимущественно в промышленных городах Центрального Казахстана, включая Караганду, Темиртау и Усть-Каменогорск. Основными источниками SO_2 являются объекты металлургической промышленности, теплоэлектростанции, а также сжигание низкокачественного топлива. Повышенное содержание SO_2 особенно заметно в зимний период ввиду увеличения нагрузки на системы теплоснабжения и ограниченного вертикального перемешивания воздушных масс [11, 12].

В целом результаты анализа свидетельствуют о том, что наиболее проблемными компонентами остаются $\text{PM}_{2.5}$, NO_2 и SO_2 , в то время как уровни других загрязнителей чаще укладываются в нормативные пределы. Полученные данные подчёркивают необходимость модернизации систем контроля качества воздуха, внедрения более строгих экологических требований к промышленным предприятиям, а также перехода к экологически чистым видам транспорта в крупных городских агломерациях.

Сравнительный анализ фактических концентраций $\text{PM}_{2.5}$ и предельно допустимых значений наглядно представлен на рисунке 2.

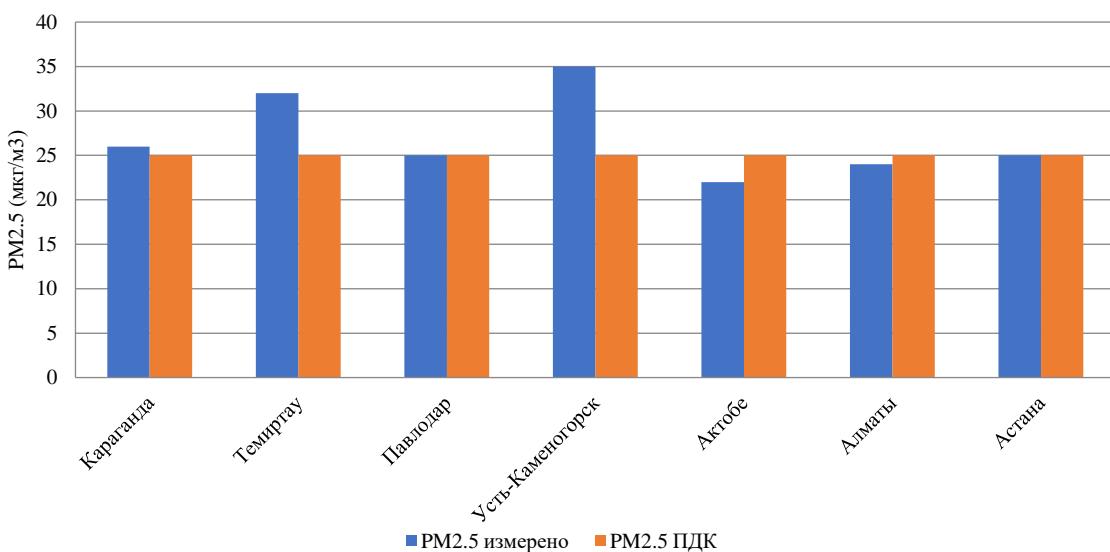


Рисунок 2. Сравнение концентраций $\text{PM}_{2.5}$ с ПДК

Полученные результаты подтверждают необходимость внедрения комплексного и многоуровневого подхода к мониторингу качества атмосферного воздуха. Традиционные стационарные посты обеспечивают долгосрочные ряды наблюдений, однако их пространственная ограниченность затрудняет получение полной картины распределения загрязняющих веществ. В этой связи сочетание спутниковых данных, наземных станций и мобильных платформ - включая беспилотные воздушные суда (БВС), оснащённые системами онлайн-анализа состава воздуха - позволяет значительно повысить точность и представительность экологического мониторинга [5, 6].

Использование БВС особенно эффективно в условиях сложной городской структуры, рельефных ограничений или локализованных промышленных выбросов, где

традиционные методы дают недостаточно детализированную информацию. Интеграция масс-спектрометрических и газоанализаторных модулей в составе БВС обеспечивает оперативное получение данных о концентрациях газовых и аэрозольных загрязнителей, а также выявление пространственно-временных аномалий, недоступных для стационарных постов.

Применение современных методов статистического анализа - включая построение временных трендов, кластеризацию данных, оценку вклада различных источников выбросов и моделирование пространственного распределения загрязнителей - способствует более глубокому пониманию механизмов формирования загрязнения воздуха. Методы визуализации, такие как тепловые карты, комбинированные графики и диаграммы превышений ПДК, позволяют наглядно представить полученные результаты и выявить наиболее неблагополучные зоны, требующие приоритетного внимания со стороны органов экологического контроля.

Результаты настоящего исследования согласуются с мировыми исследованиями в области оценки качества воздуха, где многократно подтверждена связь между урбанизацией, индустриальной активностью и повышенным уровнем антропогенных выбросов [14, 15]. В частности, наблюдаемые превышения по PM_{2.5}, NO₂ и SO₂ соответствуют глобальным тенденциям в быстрорастущих городских агломерациях и регионах с развитой промышленной инфраструктурой. Это подчёркивает необходимость дальнейшей модернизации систем экологического мониторинга, оптимизации промышленного производства, а также повышения эффективности природоохранных мероприятий.

В целом интеграция многоисточниковых данных и развитие мобильных технологий мониторинга создают основу для формирования адаптивной и научно обоснованной системы управления качеством атмосферного воздуха, способной своевременно реагировать на экологические вызовы и снижать риски для здоровья населения.

Следует отметить ряд ограничений настоящего исследования. Во-первых, пространственная разреженность сети стационарных постов мониторинга в отдельных городах может приводить к недоучёту локальных источников загрязнения и микромасштабных особенностей распределения концентраций. Во-вторых, использование спутниковых данных сопряжено с определёнными погрешностями, связанными с облачностью, вертикальным профилем атмосферы и ограниченным пространственным разрешением. Кроме того, в рамках данного исследования не проводился детальный анализ ветрового переноса загрязняющих веществ между промышленными зонами и жилыми районами, что может оказывать влияние на формирование наблюдаемых концентраций. Указанные факторы следует учитывать при интерпретации полученных результатов и при планировании дальнейших исследований.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования проведён комплексный анализ изменений уровня загрязнения атмосферного воздуха в крупных промышленных городах Республики Казахстан за период 2019...2024 гг. Основные выводы:

1. Динамика загрязнения: выявлены устойчивые тенденции повышения концентраций взвешенных частиц PM_{2.5} и PM₁₀ в зимний период, а также диоксида азота в городах с высокой плотностью транспорта. Диоксид серы преобладал в промышленных центрах Центрального Казахстана.

2. Пространственные различия: наибольшая нагрузка по загрязнителям наблюдается в промышленных районах и городских центрах, что связано с концентрацией металлургических, химических и энергетических предприятий, а также с транспортными выбросами.

3. Сравнение с нормативами: превышения предельно допустимых концентраций фиксировались для PM_{2.5} в Алматы, Павлодаре и Караганде, для NO₂ - в Алматы и Астане, для SO₂ - преимущественно в Центральном Казахстане.

4. Практическая значимость: результаты исследования подтверждают необходимость постоянного мониторинга качества атмосферного воздуха, применения комплексного подхода и интеграции современных технологий, включая спутниковые данные и мобильные платформы, такие как беспилотное воздушное судно, аппараты с аналитическими системами контроля. Данные позволяют планировать мероприятия по снижению загрязнения и оценивать эффективность уже действующих мер экологического контроля.

5. Научная ценность: представлен анализ пространственно - временных изменений загрязнения, который может быть использован в дальнейшем для прогнозирования динамики атмосферных загрязнителей, моделирования воздействия промышленности и урбанизации на окружающую среду, а также для разработки рекомендаций по устойчивому развитию городов Казахстана.

ДОСТУПНОСТЬ ДАННЫХ

Данные, использованные в исследовании, получены авторами из официальных источников РГП «Казгидромет», годовых отчетов и научных публикаций.

ВКЛАД АВТОРОВ

Концептуализация – АОБ, ИФС-Л; управление данными – АОБ, ААБ; формальный анализ – АОБ; методология – АОБ, ИФС-Л; визуализация – АОБ, ААБ; написание исходного проекта - АОБ; написание и редактирование обзора - АОБ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tursynbayeva M., Kerimray A., Karaca F., Permadi D.A. (2022). Planetary Boundary Layer and its Relationship with PM_{2.5} Concentrations in Almaty, Kazakhstan. *Aerosol and Air Quality Research*. Vol. 22, Article 210294. DOI:10.4209/aaqr.210294.
2. Beisenova R., Kuanshevich B.Z., Turlybekova G., Yelikbayev B., Kakabayev A.A., Shamshedenova S., Nugmanov A. (2023). Assessment of Atmospheric Air Quality in the Region of Central Kazakhstan and Astana. *Atmosphere*. Vol. 14(11). P. 1601. DOI:10.3390/atmos14111601.
3. Assanov D., Zapasnyi V., Kerimray A. (2021). Air Quality and Industrial Emissions in the Cities of Kazakhstan. *Atmosphere*. Vol. 12(3). P. 314. DOI:10.3390/atmos12030314.
4. Bekbossinova A., Niyazbekov A. (2024). The Impact of Urbanization on Air Quality in Largest Cities of Kazakhstan. *Eurasian Journal of Economic and Business Studies*. Vol. 68(3). P. 66–81.
5. Adambekova A., Kozhagulov S., Salnikov V., et al. (2025). Reducing Atmospheric Pollution as the Basis of a Regional Circular Economy: Evidence from Kazakhstan. *Sustainability*. Vol. 17(5). P. 2249. DOI:10.3390/su17052249.
6. (2024). Emerging threats in Central Asia: Comparative characterization of organic and elemental carbon in ambient PM_{2.5} in urban cities of Kazakhstan. *Environmental Research*.
7. (2019) Spatiotemporal Variations and Contributing Factors of Air Pollutants in Almaty, Kazakhstan // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2019. – Vol. 16(4). – P. 611–620.
8. Государственный доклад «О состоянии окружающей среды Республики Казахстан». Министерство экологии и природных ресурсов Республики Казахстан. – Астана, 2023. – 220 с.
9. (2022). Atmospheric Modelling of Photochemical Transformations of Pollutants: Impact of Weather Conditions and Diurnal Cycle (Case Study: Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan). *Mathematical Modelling of Engineering Problems*. Vol. 10(5). P. 1218–1224.
10. (2020). Quantitative and Structural Components of Solid Particles' Emissions in the City of Almaty. *Vibroengineering Procedia*. Vol. 32. P. 91–96.
11. Statistical Bulletin of the Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan. On the State of Protection of Atmospheric Air in the Republic of Kazakhstan. (2024). [Электронный ресурс] – URL: <https://stat.gov.kz> (дата обращения: 01.02.2025).
12. Kazakh Research Institute of Ecology. Monitoring of Atmospheric Air in Industrial Regions of Kazakhstan for 2022. Almaty, 2023. 8 p.
13. Брагин Н.В., Муратова Д.С. Оценка динамики загрязнения атмосферного воздуха в промышленных центрах Казахстана // Экология и промышленность Казахстана. – 2021. – № 4. – С. 15–24.
14. Chen W., Li J., Wang Y. (2020). Long-Term Trends and Driving Factors of Urban Air Pollution: A Global Perspective. *Environmental Pollution*. Vol. 263. P. 114–120. DOI:10.1016/j.envpol.2020.114120.
15. (2023). World Health Organization. Ambient (Outdoor) Air Pollution: Health Impacts. Geneva: WHO. 45 p.

REFERENCES

1. Tursynbayeva M., Kerimray A., Karaca F., Permadi D.A. (2022). Planetary Boundary Layer and its Relationship with PM_{2.5} Concentrations in Almaty, Kazakhstan. *Aerosol and Air Quality Research*. Vol. 22, Article 210294. DOI:10.4209/aaqr.210294.
2. Beisenova R., Kuanshevich B.Z., Turlybekova G., Yelikbayev B., Kakabayev A.A., Shamshedenova S., Nugmanov A. (2023). Assessment of Atmospheric Air Quality in the Region of Central Kazakhstan and Astana. *Atmosphere*. Vol. 14(11). P. 1601. DOI:10.3390/atmos14111601.

3. Assanov D., Zapasnyi V., Kerimray A. (2021). Air Quality and Industrial Emissions in the Cities of Kazakhstan. *Atmosphere*. Vol. 12(3). P. 314. DOI:10.3390/atmos12030314.
4. Bekbossinova A., Niyazbekov A. (2024). The Impact of Urbanization on Air Quality in Largest Cities of Kazakhstan. *Eurasian Journal of Economic and Business Studies*. Vol. 68(3). P. 66–81.
5. Adambekova A., Kozhagulov S., Salnikov V., et al. (2025). Reducing Atmospheric Pollution as the Basis of a Regional Circular Economy: Evidence from Kazakhstan. *Sustainability*. Vol. 17(5). P. 2249. DOI:10.3390/su17052249.
6. (2024). Emerging threats in Central Asia: Comparative characterization of organic and elemental carbon in ambient PM_{2.5} in urban cities of Kazakhstan. *Environmental Research*.
7. (2019) Spatiotemporal Variations and Contributing Factors of Air Pollutants in Almaty, Kazakhstan // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2019. – Vol. 16(4). – P. 611–620.
8. Gosudarstvennyj doklad «O sostoyanii okrughayushchej sredy Respubliki Kazahstan» [The State report "On the state of the environment of the Republic of Kazakhstan"]. Ministerstvo ekologii i prirodnyh resursov Respubliki Kazahstan. Astana, 2023. 220 p.
9. (2022). Atmospheric Modelling of Photochemical Transformations of Pollutants: Impact of Weather Conditions and Diurnal Cycle (Case Study: Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan). *Mathematical Modelling of Engineering Problems*. Vol. 10(5). P. 1218–1224.
10. (2020). Quantitative and Structural Components of Solid Particles' Emissions in the City of Almaty. *Vibroengineering Procedia*. Vol. 32. P. 91–96.
11. Statistical Bulletin of the Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan. On the State of Protection of Atmospheric Air in the Republic of Kazakhstan. (2024). [Электронный ресурс] – URL: <https://stat.gov.kz> (дата обращения: 01.02.2025).
12. Kazakh Research Institute of Ecology. Monitoring of Atmospheric Air in Industrial Regions of Kazakhstan for 2022. Almaty, 2023. 8 p.
13. Bragin N.V., Muratova D.S. (2021). Ocenka dinamiki zagryazneniya atmosfernogo vozduha v promyshlennyyh centrakh Kazahstana [Assessment of the dynamics of atmospheric air pollution in industrial centers of Kazakhstan]. *Ekologiya i promyshlennost' Kazahstana*. № 4. P. 15–24.
14. Chen W., Li J., Wang Y. (2020). Long-Term Trends and Driving Factors of Urban Air Pollution: A Global Perspective. *Environmental Pollution*. Vol. 263. P. 114–120. DOI:10.1016/j.envpol.2020.114120.
15. (2023). World Health Organization. Ambient (Outdoor) Air Pollution: Health Impacts. Geneva: WHO. 45 p.

ҚОРШАҒАН ОРТАНЫ МОНИТОРИНГТЕУ ДЕРЕКТЕРІ НЕГІЗІНДЕ ҚАЗАҚСТАННЫҢ ӨНЕРКӘСІПТІК ҚАЛАЛАРЫНДАҒЫ АТМОСФЕРАЛЫҚ АУАНЫҢ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ЛАСТАНУ ДЕНГЕЙІНІЦ ӨЗГЕРІСТЕРІН ТАЛДАУ

Арман О. Байсанов¹, Игорь Ф. Спивак-Лавров² ф-м.ф.д., Андрей А. Бебенин³ т.ф.к.

¹ Т.Я. Бегельдинов атындағы Әуе қорғанысы күштерінің әскери институты, Ақтөбе, Қазақстан; arbaisanov@mail.ru

² Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өнірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан; spivakif@rambler.ru

³ Қазақстан Республикасының Үлттүк қорғаныс университеті, Астана, Қазақстан; abebenin_77@mail.ru

*Автор корреспондент: Арман О. Байсанов, arbaisanov@mail.ru

ТҮЙИН СӨЗДЕР

атмосфералық ауа,
ластану,
мониторинг,
өнеркәсіптік қалалар,
өзгерістер динамикасы.

Мақала жайында:

Жіберілді: 24.11.2025
Қайта қаралды: 22.12.2025
Кабылданды: 24.12.2025
Жарияланды: 30.12.2025

АБСТРАКТ

Мақалада соңғы бірнеше жылдағы қоршаган ортаның мемлекеттік мониторингінің деректері негізінде Қазақстанның ірі өнеркәсіптік қалаларында атмосфералық ауаның ластану деңгейінің өзгеруіне талдау жасалды. Негізгі ластаушы заттардың концентрациясы, соның ішінде күкірт диоксиді (SO_2), азот диоксиді (NO_2), сондай-ақ тоқтатылған PM_{2.5} және PM₁₀ бөлшектері қарастырылады. Стационарлық бақылаулардың нәтижелерін, деректерді статистикалық өндөуді және кеңістіктік-уақыттық талдауды біріктіретін кешенді тәсілді қолдану ауа сапасының өзгеру динамикасын анықтауга және экологиялық жүктемесі жоғары ең проблемалы аймақтарды анықтауға мүмкіндік берді. Алынған нәтижелер іске асрылып жатқан табиғат қорғау шараларының тиімділігін бағалауға мүмкіндік береді және Қазақстандағы атмосфералық ауаның сапасын бақылау мен басқару жүйесін жетілдіру үшін негіз қалыптастырады. Зерттеудің практикалық маңыздылығы аймақтық деңгейде экологиялық саясатты болжайу және жоспарлау үшін анықталған заңдылықтарды қолдану мүмкіндігі болып табылады.

ANALYSIS OF CHANGES IN ATMOSPHERIC AIR POLLUTION IN INDUSTRIAL CITIES OF KAZAKHSTAN BASED ON ENVIRONMENTAL MONITORING DATA

Arman Baisanov¹, Igor Spivak-Lavrov² Doctor of Physics and Mathematics, Andrey Bebenin³ Candidate of Technical Sciences

¹ Military Institute of the Air Defense Forces named after T.Ya. Begeldinov, Aktobe, Kazakhstan; arbaisanov@mail.ru

² Aktobe Regional University named after K. Zhubanov, Aktobe, Kazakhstan; spivakif@rambler.ru

³ National Defense University of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan; abebenin_77@mail.ru

* Corresponding author: Arman Baisanov, arbaisanov@mail.ru

KEY WORDS

atmospheric air,
pollution,
monitoring,
industrial cities,
dynamics of changes

ABSTRACT

The article analyzes changes in atmospheric pollution levels in Kazakhstan's largest industrial cities based on data from state environmental monitoring over the past several years. It examines the concentrations of major pollutants, including sulfur dioxide (SO_2), nitrogen dioxide (NO_2), and PM2.5 and PM10 particulate matter. The use of a comprehensive approach combining the results of stationary observations, statistical data processing, and spatiotemporal analysis made it possible to identify trends in air quality and determine the most problematic regions with increased environmental stress. The results obtained make it possible to assess the effectiveness of the environmental protection measures being implemented and form the basis for improving the system of monitoring and managing atmospheric air quality in Kazakhstan. The practical significance of the study lies in the possibility of using the identified patterns to forecast and plan environmental policy at the regional level.

About article:

Received: 24.11.2025

Revised: 22.12.2025

Accepted: 24.12.2025

Published: 30.12.2025

Примечание издателя: заявления, мнения и данные во всех публикациях принадлежат только автору (авторам), а не журналу "Гидрометеорология и экология" и/или редактору (редакторам).