

НАУКИ ОБ АТМОСФЕРЕ И КЛИМАТЕ/ATMOSPHERIC AND CLIMATE SCIENCES

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160.80>

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИНВЕРСИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ УСЛОВИЙ ПОГОДЫ И ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ

Научная статья

Белоусова Л.Ю.¹, Афанасьева Ю.С.², Булгакова В.В.^{3,*}, Мыздриков А.С.⁴

^{1, 2, 3, 4} Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации, Санкт-Петербург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (bu_veron[at]mail.ru)

Аннотация

В представленной работе рассмотрено влияние температурных инверсий на формирование сложных условий погоды и загрязнение пограничного слоя атмосферы в г. Уфа. Установлена положительная корреляция между частотой инверсий и концентрациями загрязняющих веществ (NO, NH₃, CO, PM₁₀), а также выявлена их связь с выпадением осадков. Определено, что мощные инверсии способствуют удержанию загрязняющих веществ и усилению неблагоприятных метеоусловий, в то время как слабые инверсии характеризуются отрицательной корреляцией с рядом атмосферных параметров. Полученные в статье результаты имеют значение не только для оценки качества воздуха и обеспечения экологической безопасности, но и для безопасности полетов.

Ключевые слова: температурная инверсия, пограничный слой атмосферы, загрязнение воздуха, осадки, сложные погодные условия, корреляционный анализ, Уфа.

STUDY OF THE INFLUENCE OF INVERSIONS ON THE DEVELOPMENT OF COMPLEX WEATHER CONDITIONS AND POLLUTION OF THE BOUNDARY LAYER OF THE ATMOSPHERE

Research article

Belousova L.Y.¹, Afanaseva Y.S.², Bulgakova V.B.^{3,*}, Myzdrikov A.S.⁴

^{1, 2, 3, 4} Saint Petersburg State University of Civil Aviation, Saint-Petersburg, Russian Federation

* Corresponding author (bu_veron[at]mail.ru)

Abstract

The paper considers the influence of temperature inversions on the development of complex weather conditions and pollution of the boundary layer of the atmosphere in Ufa. A positive correlation has been established between the frequency of inversions and concentrations of pollutants (NO, NH₃, CO, PM₁₀), and their relationship with precipitation has also been identified. It has been determined that strong inversions contribute to the retention of pollutants and the intensification of severe weather conditions, while weak inversions are characterised by a negative correlation with a number of atmospheric parameters. The obtained results are important not only for assessing air quality and ensuring environmental safety, but also for flight safety.

Keywords: temperature inversion, boundary layer of the atmosphere, air pollution, precipitation, severe weather conditions, correlation analysis, Ufa.

Введение

Как известно, инверсия характеризуется повышением температуры воздуха с высотой, что является противоположным обычному характеру её понижения [1]. К наиболее часто наблюдаемым типам инверсий в приземном слое атмосферы относятся радиационные, возникающие в ночное время при безветренной погоде. Высокая повторяемость инверсий в разных регионах подтверждается различными исследованиями за температурным режимом по высотам. Так, в Санкт-Петербурге в течение 2010 года инверсии фиксировались ежемесячно, с максимальной повторяемостью в декабре (98%) [10].

Приземные инверсии оказывают влияние на формирование сложных условий погоды для различных сфер деятельности, в том числе, на транспортную инфраструктуру, а также на качество атмосферного воздуха, особенно в районах с высокой антропогенной нагрузкой. Как правило, инверсионные слои характеризуются устойчивой стратификацией, которая препятствует развитию восходящих потоков и формированию конвективной облачности. Вместе с тем под верхней границей инверсии формируются слоистообразные облака (слоистые, слоисто-кучевые), из которых могут выпадать моросящие осадки, а у поверхности земли вероятно образование туманов [3]. При температурах у земли около 0°C моросящие осадки могут быть переохлажденными, что может привести к обледенению воздушных судов и гололёду. Кроме того, при наличии приземных и приподнятых слоев инверсии происходит накопление загрязняющих веществ (ЗВ) в окружающей среде в силу отсутствия вертикального переноса воздуха, концентрация которых зависит от степени повышения температуры с высотой.

В предыдущих исследованиях [13] была установлена статистически значимая корреляция между частотой повторяемости приземных инверсий, осадками и концентрацией (ЗВ) в нижнем слое атмосферы. Атмосферные осадки, выполняя функцию гидрокумулятивного вымывания ЗВ, одновременно участвуют в химических процессах, способствующих образованию кислотных дождей и изменению морфологии аэрозольных частиц. Таким образом, осадки выполняют двойственную роль — способствуют снижению концентраций загрязнений и их химической трансформации в инверсионных слоях [4].

Как следует из [5], повышение концентрации ЗВ может достигать 99% вочные часы, особенно в зимнее время года при наличии приземных инверсий. Для исследования статистических характеристик повторяемости инверсий используются данные температурно-ветрового радиозондирования.

В качестве исследуемого региона для такого анализа был выбран город Уфа, характеризующийся умеренно-континентальным климатом, разнообразным рельефом и большой частотой повторяемости антициклонов [2], что способствует формированию приземных и приподнятых инверсий.

Полученные результаты позволяют оценить влияние инверсий на погодные условия региона, изучить сезонные особенности погоды, установить взаимосвязь между температурным режимом нижней атмосферы и повторяемостью слоистообразной облачности, и выпадением осадков, а также способствовать дальнейшим исследованиям влияния инверсий на качество воздуха. Кроме того, практические результаты могут быть использованы и в авиационной сфере для оценки влияния инверсий на взлетно-посадочные характеристики воздушных судов, от которых также зависит количество, выбрасываемых загрязняющих веществ при эмиссии двигателей.

Материалы и методы

Для исследования температурного режима в пограничном слое атмосферы в г. Уфа были использованы архивные данные температурно-ветрового радиозондирования, проведённого на аэрологической станции в 2020 году [7]. Всего проанализировано 41 915 наблюдений за температурой по высотам.

Данные о наличии слоистых и слоисто-кучевых облаков, а также об атмосферных осадках за исследуемый период были получены из базы данных Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации — Мирового центра данных (ВНИИГМИ–МЦД) [7].

Данные о загрязнении приземного слоя атмосферы представлены концентрациями основных загрязняющих веществ: оксида азота (NO), оксида углерода (CO), взвешенных частиц (PM10) и аммиака (NH_3), выраженным в долях предельно допустимых концентраций (ПДК) [8], [9].

Для расчета повторяемости температурных инверсий и их характеристик был рассмотрен слой атмосферы до высоты до 2000 м.

Для выявления взаимосвязей между характеристиками температурных инверсий, количеством осадков и уровнем загрязнения окружающей среды проведен корреляционный анализ по методу Пирсона. Обработка данных и статистический анализ осуществлялись с использованием языка программирования Python версии 3.10, с применением библиотек NumPy 1.23, Pandas 1.5 и SciPy 1.9 для статистики и обработки временных рядов.

Результаты

Анализ результатов расчетов показал, что приземные и приподнятые инверсии в г. Уфа наблюдаются довольно часто. Так как причины формирования инверсий могут быть разными, в работе их характеристики рассматриваются отдельно для дневного и ночного времени суток (рис. 1).

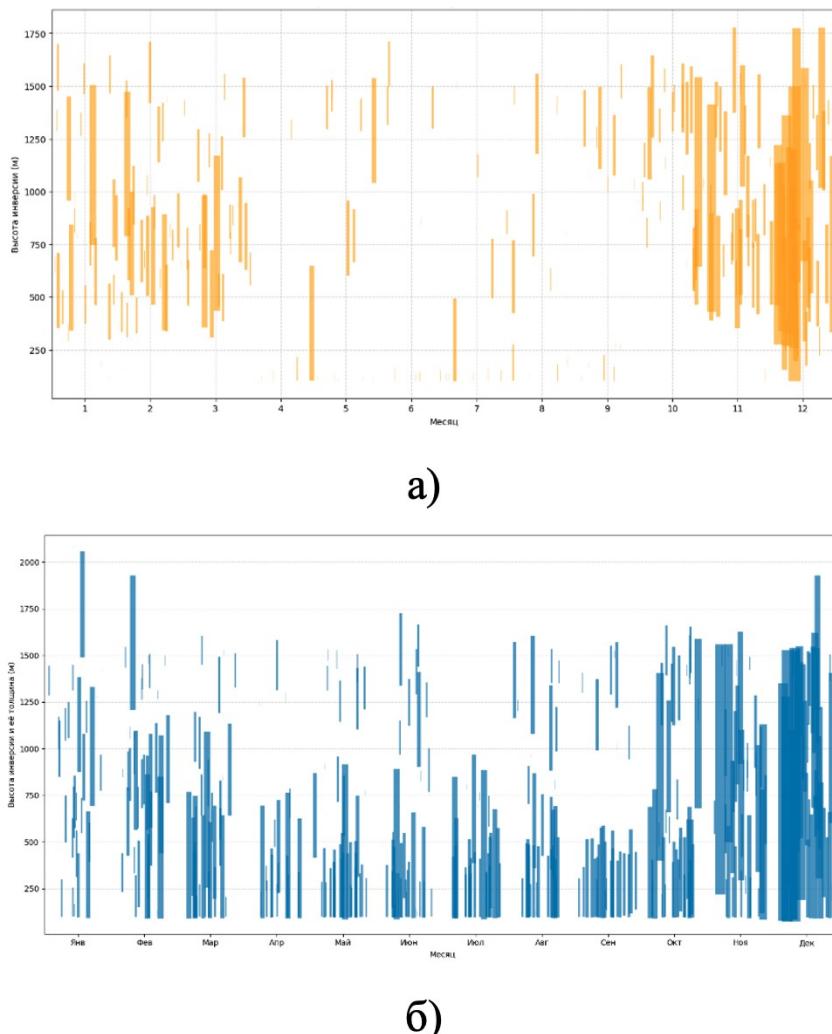


Рисунок 1 - Распределение повторяемости инверсий по высотам (м) в г. Уфа за 2020 год:

а) дневные; б) ночные

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160.80.1>

Как видно, повторяемость дневных иочных инверсий в течение года распределяется неравномерно. Ночные инверсии формируются гораздо чаще, отмечаются во все сезоны, максимум повторяемости приходится на ноябрь и декабрь. При этом очевые инверсии, главным образом, приземные и, как правило, связаны с радиационным выхолаживанием земной поверхности.

В отличие от очевых, дневные инверсии формируются гораздо реже, максимум их повторяемости приходится также на ноябрь и декабрь. Следует отметить, что в дневное время отмечаются главным образом приподнятые и высотные инверсии, что, очевидно, связано с дневным прогревом подстилающей поверхности и разрушением приземной части очевых инверсий. Очевидно, что причины такого характера повторяемости инверсий требуют дальнейшего исследования, так как двухразового зондирования атмосферы в сутки недостаточно для обоснования таких выводов.

Из рисунка 1 также видно, что мощности как приземных, так и приподнятых инверсий колеблются достаточно в больших пределах и в дневное, и в очевидное время суток.

Годовой ход повторяемости инверсий (%) от общего числа наблюдений) представлен на рисунке 2.

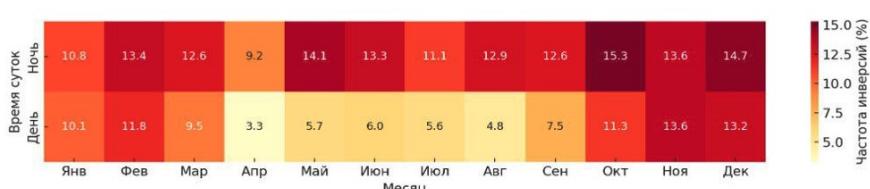


Рисунок 2 - Годовой ход повторяемости температурных инверсий в зависимости от времени суток за 2020 г.

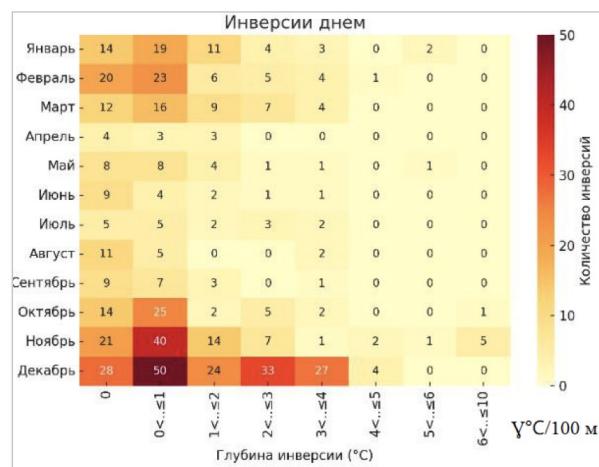
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160.80.2>

Частота появления инверсий достигает максимума в октябре (15,3%), ноябре (13,6%) и декабре (14,7%) в ночное время. При этом наблюдается тенденция к уменьшению повторяемости инверсий в теплый период года. Аналогичный годовой ход отмечается и в дневное время. Так, с апреля по август повторяемость колеблется в пределах от 3,3 % до 6%.

На рис. 3 представлена повторяемость температурных инверсий в зависимости от их глубины.



а)



б)

Рисунок 3 - Повторяемость температурных инверсий в зависимости от глубины:

а) дневные; б) ночные

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160.80.3>

Как видно, в г. Уфа преобладают инверсии с глубиной от 0 до 1 °С. Затем наблюдается значительное уменьшение повторяемости инверсий с глубиной от 2 до 4°C/100 м. Вместе с тем следует отметить, что на долю инверсий, глубина которых составляет от 4 до 6 °C/100 м, приходится достаточно большое количество случаев, что может повлиять на увеличение концентрации ЗВ и безопасность полетов. Также было отмечено 27 случаев инверсий с градиентами температуры от 6 до 10 °C/100 м.

Для оценки влияния приземных инверсий на формирование сложных условий погоды дополнительно были проанализированы данные наблюдений за слоистообразной облачностью нижнего яруса и количеством атмосферных осадков в г. Уфа. На рисунке 4 представлена среднемесячная повторяемость слоистой и слоисто-кучевой облачности за 2020 год (% от общего числа наблюдений в месяце). Максимальные значения повторяемости наблюдались в апреле (52.1%), августе (48.4%) и январе (46.0%), минимальные (28–25%) — в июле, сентябре и декабре.

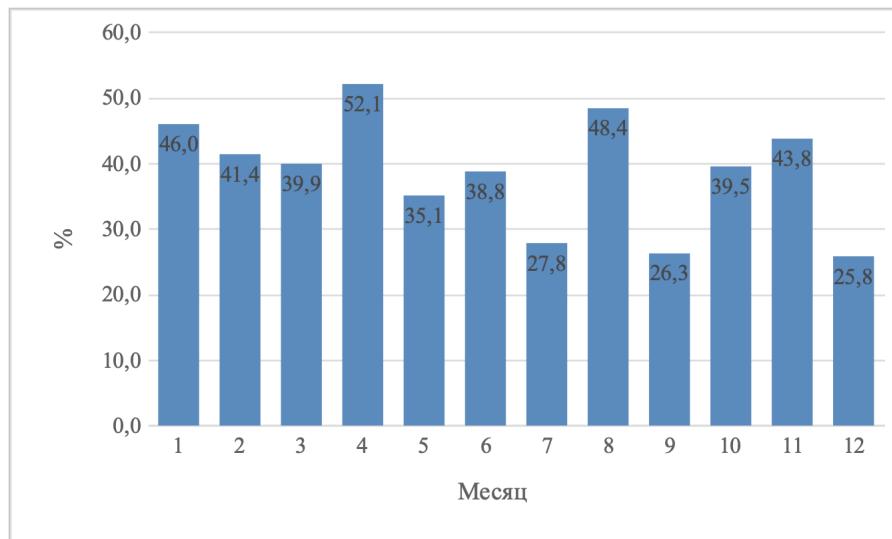


Рисунок 4 - Среднемесячная повторяемость слоистообразной облачности в г. Уфа за 2020 год
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160.80.4>

Для сравнения полученных данных с повторяемостью приземных и приподнятых инверсий была рассмотрена повторяемость слоистообразной облачности в сроки зондирования для дневного и ночного времени суток (рис. 5).

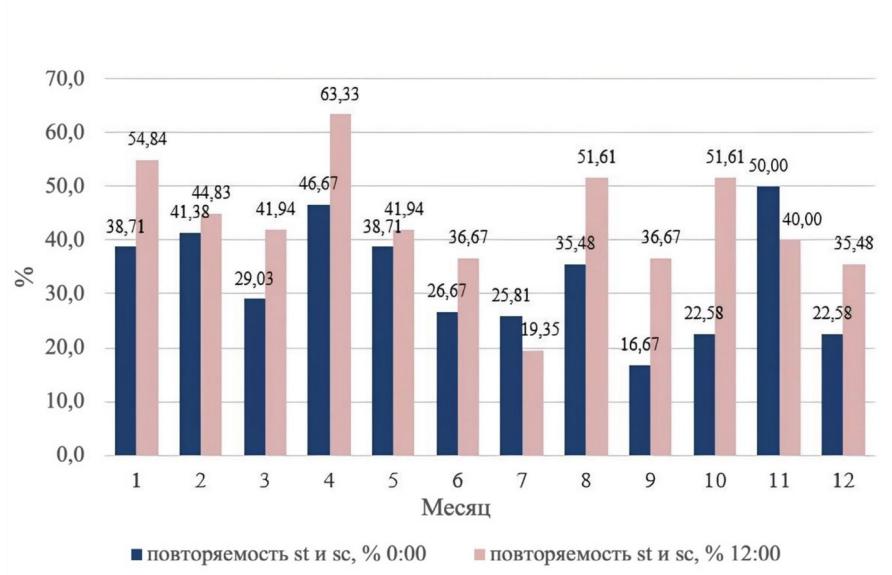


Рисунок 5 - Годовой ход повторяемости слоистообразной облачности в сроки 00 и 12 часов
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160.80.5>

Анализируя результаты расчетов, можно сделать вывод, что нет хорошо выраженной связи повторяемости рассматриваемых форм облачности с повторяемостью инверсий, что также подтверждается данными представленными на рисунке 6.

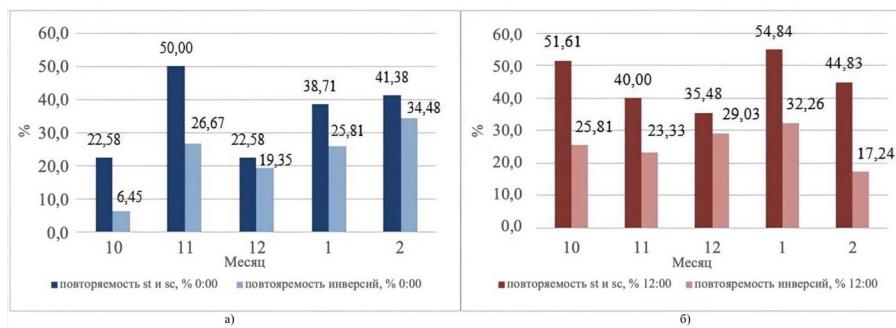


Рисунок 6 - Повторяемость инверсий и слоистообразной облачности в холодный период года: а) в 00 часов, б) в 12 часов

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160.80.6>

Из рисунка видно, что слоистообразные облака в пограничном слое атмосферы наблюдаются гораздо чаще, чем инверсии.

Годовой ход суммарного количества атмосферных осадков представлен на рисунке 7.

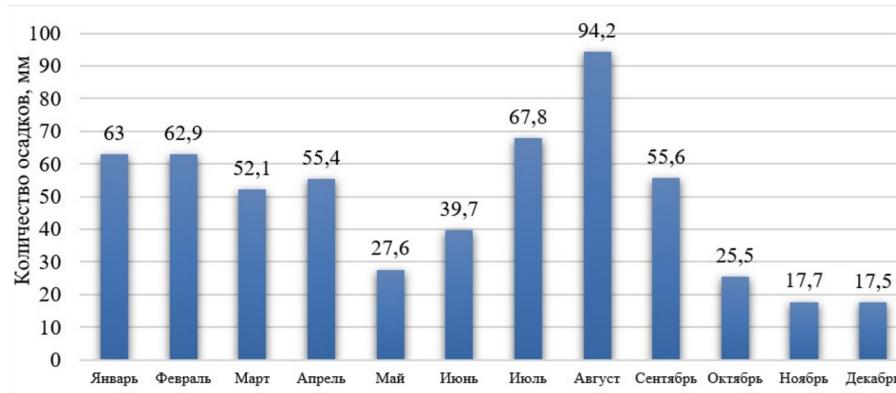


Рисунок 7 - График годового хода осадков в г. Уфа за 2020 г.

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160.80.7>

Как видно из рисунка, минимальное количество осадков отмечается с октября по декабрь. Максимум приходится на август.

Для количественной оценки взаимосвязи между повторяемостью формирований инверсий и повторяемостью слоистообразной облачности, осадков и уровнем загрязнения приземного слоя был выполнен корреляционный анализ по методу Пирсона. Интерпретация результатов осуществлялась с применением α -уровня значимости, основанного на t-распределении (критерий Стьюдента).

Анализ взаимосвязи между повторяемостью температурных инверсий и повторяемостью слоистой и слоисто-куевой облачностью показал слабую корреляцию как для ночного ($r = -0,27$), так и для дневного времени суток ($r = -0,01$). Очевидно, что в районе г. Уфа облачность рассматриваемых типов в незначительной степени связана с процессами формирования температурных инверсий.

Анализ зависимости глубины температурных инверсий от количества осадков выявил устойчивую отрицательную корреляцию, особенно для инверсий с градиентом $0-1^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$ как в ночное ($r = -0,57$), так и в дневное время суток ($r = -0,62$). Это может указывать на то, что при увеличении количества осадков возрастает вероятность разрушения «слабых» инверсий, за счёт усиления турбулентности, вертикального перемешивания в облачности. Для инверсий большой глубины коэффициенты корреляции также имели отрицательные значения, но были менее выражеными, что может свидетельствовать об их меньшей чувствительности к процессам, связанным с осадками, которые во многом зависят от их интенсивности.

С целью анализа влияния инверсий на качество воздуха были рассмотрены сезонные характеристики загрязнения приземного слоя атмосферы веществами NO, NH₃, CO, PM10. Среднегодовые концентрации этих загрязняющих веществ (NO, NH₃, CO, PM10) в г. Уфа за исследуемый период составляли от 0,7 до 1,3 ПДК и отличались незначительными сезонными колебаниями. Наибольшие значения PM10 зафиксированы в холодное время года, что, вероятно, связано с интенсивностью отопительного сезона и наличием температурных инверсий, препятствующих вертикальному перемешиванию воздуха.

Анализ взаимосвязи концентрации рассматриваемых загрязняющих веществ с частотой повторяемости приземных инверсий показал высокую положительную и статистически значимую корреляцию в дневное время: NO ($r = 0,795$),

NH₃ ($r = 0,865$), CO ($r = 0,795$) и PM₁₀ ($r = 0,808$) соответственно. В ночные часы аналогичная корреляции оказались статистически незначимой, хотя для NH₃ наблюдалась умеренная положительная тенденция ($r = 0,415$), что может быть связано с уменьшением динамики эмиссионных процессов в течение суток.

Зависимость концентрации загрязняющих веществ от глубины инверсий статистически значимо коррелирует с концентрациями загрязняющих веществ в дневное время ($r = 0,746 - 0,902$). Очевидно, что инверсии большой глубины способствуют формированию застойных условий в приземной атмосфере, ограничивая вертикальный перенос и способствуя накоплению загрязнений. В ночное время (00:00 UTC) аналогичная зависимость оказались статистически незначимой, что, вероятно, связано с тем, что вклад в степень антропогенного загрязнения атмосферного воздуха менее выражен.

Заключение

Проведённое исследование подтвердило влияние температурных инверсий на увеличение концентрации загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы в г. Уфа. Особенно это характерно для дневного времени.

Установлена положительная корреляция между частотой дневных инверсий и концентрациями NO, NH₃, CO и PM₁₀. Температурные инверсии в дневное время способствуют удержанию загрязняющих веществ в приземном слое. Увеличение мощности инверсий также приводит к повышению уровня загрязнения воздуха.

Полученные результаты могут быть использованы для разработки эффективных мер по улучшению качества атмосферного воздуха в городских условиях, для оценки экологических последствий промышленных выбросов, а также для планирования и обеспечения безопасности авиационных взлетно-посадочных операций.

В дальнейшем планируется расширить исследование используя данные современных многолетних наблюдений за температурой воздуха по высотам за более длительный период с учётом параметров атмосферной нестабильности и циркуляции атмосферы.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Метеорологический словарь. — URL: <https://komimeteo.ru/encyclopedia/termin52.html> (дата обращения: 01.06.2025).
2. Марков Н.Г. Особенности городского климата в Уфе / Н.Г. Марков // Геосфера. Современные проблемы естественных наук : сборник статей Всероссийской научно-практической конференции, посвященной памяти кандидата геолого-минералогических наук П.Н. Швецова. — Уфа : Уфимский университет науки и технологий, 2022. — Т. 15. — Ч. 2. — С. 93–96.
3. How Temperature Inversions Affect Air Quality And Weather. — URL: <https://freescience.info/how-temperature-inversions-affect-air-quality-and-weather/> (accessed: 05.05.2025).
4. Sun Y. Distinct impacts on precipitation by aerosol radiative effect over three different megacity regions of eastern China / Y. Sun, C. Zhao. — 2021. — URL: https://www.researchgate.net/publication/354222550_Distinct_impacts_on_precipitation_by_aerosol_radiative_effect_over_three_different_megacity_regions_of_eastern_China (accessed: 23.06.2025).
5. Yavuz V. Unveiling the impact of temperature inversions on air quality: a comprehensive analysis of polluted and severe polluted days in Istanbul / V. Yavuz // Acta Geophys. — 2025. — Vol. 73. — P. 969–986. — URL: <https://doi.org/10.1007/s11600-024-01417-0> (accessed: 07.05.2025).
6. Ячмёнова Н.В. Повторяемость инверсий и их влияние на уровень загрязнения атмосферного воздуха в г. Челябинске / Н.В. Ячмёнова, А.Ю. Гольвей // Вестник ЧелГУ. — 2011. — № 5. — С. 84–89. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povtoryaemost-inversiy-i-ih-vliyanie-na-uroven-zagryazneniya-atmosfernogo-vozduha-v-g-chelyabinske> (дата обращения: 01.07.2025).
7. Архив фактической погоды г. Уфа. — URL: <https://www.hmn.ru/index.php?index=8&value=28722> (дата обращения: 01.04.2025).
8. Никишова В.Д. Исследование задерживающих слоев атмосферы на примере города Уфы / В.Д. Никишова // Современная наука: актуальные вопросы, достижения и инновации : сборник статей XIV Международной научно-практической конференции. — Пенза : Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2020. — С. 349–351.
9. Переведенцев Ю.П. Изменения термического режима в тропо-стратосфере над территорией Башкортостана / Ю.П. Переведенцев, Т.Р. Аухадеев, Р.Г. Галимова [и др.] // Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле». — 2020. — Т. 30. — № 2. — С. 190–199. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izmeneniya-termicheskogo-rezhima-v-tropo-stratosfere-nad-territoriyey-bashkortostana> (дата обращения: 02.06.2025).
10. Ошибаев Р.А. Динамика загрязнения атмосферного воздуха города Уфа и Республики Башкортостан / Р.А. Ошибаев, Р.Р. Ильясова, Э.М. Нагимова [и др.] // Гигиена: здоровье и профилактика : сборник материалов IV Межрегиональной научно-практической конференции с международным участием. — Самара : Самарский государственный медицинский университет; Контролс-Самара, 2020. — С. 75–76.

11. Галеева Э.М. К вопросу о комплексной оценке состояния окружающей среды в г. Уфа / Э.М. Галеева, Р.Г. Галимова, Д.С. Теплова // Российский журнал прикладной экологии. — 2018. — № 1 (13). — С. 47–51. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-o-kompleksnoy-otsenke-sostoyaniya-okruzhayuschey-sredy-v-g-ufa> (дата обращения: 02.06.2025).
12. Гржибовский А.М. Корреляционный анализ / А.М. Гржибовский // Экология человека. — 2008. — № 9. — С. 50–60. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/korreljatsionnyy-analiz> (дата обращения: 23.05.2025).
13. Булгакова В.В. Влияние метеорологических условий на уровень загрязнения атмосферного воздуха в г. Уфа / В.В. Булгакова // Сборник материалов участников международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых в рамках XXI Большого географического фестиваля, посвященного 100-летию вхождения Географического Института в состав СПбГУ. — Санкт-Петербург : Свое издательство, 2025. — С. 288–293. — URL: <https://dspace.spbu.ru/items/198bd7b9-4cf5-4013-9f3f-b84b57dbfffc> (дата обращения: 02.06.2025).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Meteorologicheskij slovar' [Meteorological Dictionary]. — URL: <https://komimeteo.ru/encyclopedia/termin52.html> (accessed: 01.06.2025). [in Russian]
2. Markov N.G. Osobennosti gorodskogo klimata v Ufe [Features of the urban climate in Ufa] / N.G. Markov // Geosfera. Sovremennye problemy estestvennyh nauk [Geosphere. Modern problems of natural sciences] : collection of articles of the All-Russian Scientific-Practical Conference dedicated to the memory of Candidate of Geological and Mineralogical Sciences P.N. Shvetsov. — Ufa : Ufa University of Science and Technology, 2022. — Vol. 15. — Part 2. — P. 93–96. [in Russian]
3. How Temperature Inversions Affect Air Quality And Weather. — URL: <https://freescience.info/how-temperature-inversions-affect-air-quality-and-weather/> (accessed: 05.05.2025).
4. Sun Y. Distinct impacts on precipitation by aerosol radiative effect over three different megacity regions of eastern China / Y. Sun, C. Zhao. — 2021. — URL: https://www.researchgate.net/publication/354222550_Distinct_impacts_on_precipitation_by_aerosol_radiative_effect_over_three_different_megacity_regions_of_eastern_China (accessed: 23.06.2025).
5. Yavuz V. Unveiling the impact of temperature inversions on air quality: a comprehensive analysis of polluted and severe polluted days in Istanbul / V. Yavuz // Acta Geophys. — 2025. — Vol. 73. — P. 969–986. — URL: <https://doi.org/10.1007/s11600-024-01417-0> (accessed: 07.05.2025).
6. Yachmeneva N.V. Povtoraemost' inversij i ih vlijanie na uroven' zagrjaznenija atmosfernogo vozduha v g. Cheljabinske [Frequency of inversions and their impact on the level of atmospheric air pollution in Chelyabinsk] / N.V. Yachmeneva, A.Yu. Golvey // Vestnik ChelGU [Bulletin of Chelyabinsk State University]. — 2011. — № 5. — P. 84–89. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povtoraemost-inversiy-i-ih-vliyanie-na-uroven-zagryazneniya-atmosfernogo-vozduha-v-g-chelyabinske> (accessed: 01.07.2025). [in Russian]
7. Arhiv fakticheskoy pogody g. Ufa [Archive of actual weather in Ufa]. — URL: <https://www.hmn.ru/index.php?index=8&value=28722> (accessed: 01.04.2025). [in Russian]
8. Nikishova V.D. Issledovanie zaderzhivajushhih sloev atmosfery na primere goroda Ufy [Research of the atmosphere's retaining layers on the example of the city of Ufa] / V.D. Nikishova // Sovremennaja nauka: aktual'nye voprosy, dostizhenija i innovacii [Modern science: topical issues, achievements and innovations] : collection of articles of the XIV International Scientific and Practical Conference. — Penza: Nauka i Prosveshchenie (IP Gulyaev G.Yu.), 2020. — P. 349–351. [in Russian]
9. Perevedencev Ju.P. Izmenenija termicheskogo rezhima v tropo-stratosfere nad territoriej Bashkortostana [Changes of thermal regime in tropo-stratosphere over Bashkortostan territory] / Ju.P. Perevedencev, T.R. Auhadeev, R.G. Galimova [et al.] // Vestnik Udmurtskogo universiteta. Serija "Biologija. Nauki o Zemle" [Bulletin of Udmurt University. Series "Biology. Earth Sciences"]. — 2020. — Vol. 30. — № 2. — С. 190–199. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izmeneniya-termicheskogo-rezhima-v-tropo-stratosfere-nad-territoriyey-bashkortostana> (accessed: 02.06.2025). [in Russian]
10. Oshibaev R.A. Dinamika zagrjaznenija atmosfernogo vozduha goroda Ufa i Respubliki Bashkortostan [Dynamics of atmospheric air pollution in the city of Ufa and the Republic of Bashkortostan] / R.A. Oshibaev, R.R. Il'jasova, Je.M. Nagimova [et al.] // Gigiena: zdorov'e i profilaktika [Hygiene: health and prevention] : collection of materials of the IV Interregional Scientific-Practical Conference with international participation. — Samara : Samara State Medical University; Kontrols-Samara, 2020. — P. 75–76. [in Russian]
11. Galeeva Je.M. K voprosu o kompleksnoj ocenke sostojaniya okruzhajushhej sredy v g. Ufa [To the question of complex evaluation of the environmental status in the city of Ufa] / Je.M. Galeeva, R.G. Galimova, D.S. Teplova // Rossijskij zhurnal prikladnoj ekologii [Russian Journal of Applied Ecology]. — 2018. — № 1 (13). — P. 47–51. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-o-kompleksnoy-otsenke-sostoyaniya-okruzhayuschey-sredy-v-g-ufa> (accessed: 02.06.2025). [in Russian]
12. Grjibovski A.M. Korreljacionnyj analiz [Correlation analysis] / A.M. Grjibovski // Jekologija cheloveka [Human Ecology]. — 2008. — № 9. — P. 50–60. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/korreljatsionnyy-analiz> (accessed: 23.05.2025). [in Russian]
13. Bulgakova V.V. Vlijanie meteorologicheskikh uslovij na uroven' zagrjaznenija atmosfernogo vozduha v g. Ufa [Influence of meteorological conditions on the level of atmospheric air pollution in Ufa] / V.V. Bulgakova // Sbornik materialov uchastnikov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh v ramkah XXI Bol'shogo geograficheskogo festivalya, posvyashchennogo 100-letiyu vhozhdeniya Geograficheskogo Instituta v sostav SPbGU [Collection of materials from participants of the international scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists within the framework of the XXI Great Geographical Festival dedicated to the 100th anniversary of the Geographical Institute joining St. Petersburg State University]. — Saint Petersburg : Svoe izdatel'stvo, 2025.

— Р. 288–293. — URL: <https://dspace.spbu.ru/items/198bd7b9-4cf5-4013-9f3f-b84b57ddbff> (accessed: 02.06.2025). [in Russian]