

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт математики и фундаментальной информатики
Базовая кафедра вычислительных и информационных технологий

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

/В.В. Шайдуров

«_____» _____ 2024г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Направление 02.03.01 – Математика и компьютерные науки

КОРРЕКТИРОВКА ПОКАЗАНИЙ ПО КОНЦЕНТРАЦИИ PM2.5 НЕДОРОГИХ ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ПРОСТРАНСТВЕННО- РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СЕТИ С УЧЁТОМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Руководитель

доцент, кандидат
физико-математических
наук

В.С. Петракова

Выпускник

О.В. Тюкавкина

Нормоконтролер

Т.Н. Шипина

Красноярск 2024

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Обзор научной проблемы и предлагаемых методов её решения	6
1.1. Научная проблема.....	6
1.2. Метод исследования	8
2. Анализ данных по концентрациям PM _{2.5} в приземном слое атмосферы Красноярска	14
2.1. Первичный анализ данных.....	14
2.2. Регрессионный анализ.....	24
2.3. Калибровка показаний оптических датчиков CityAir в соответствии с показаниями датчиков E-ВAM.....	25
3. Анализ влияния сезонной составляющей на калибровочные коэффициенты	28
3.1. Календарный подход	28
3.2. Выделение сезонов кратных месяцам.....	30
3.3. Пороговые методы в применении к задаче выделения сезонов	31
Заключение	35
Список использованных источников	37

ВВЕДЕНИЕ

По данным Министерства природных ресурсов и экологии РФ, Красноярск является одним из городов с самым грязным воздухом в России. По версии службы мониторинга качества воздуха в режиме реального времени - IQAir, только в феврале 2023 года Красноярск дважды возглавлял список крупнейших городов мира с самым высоким уровнем загрязнения воздуха [1].

Общепринятым маркером и одновременно одним из самых вредных загрязнителей воздуха в приземном слое атмосферы современных городов являются твердые частицы диаметром 2.5 микрона и меньше (PM2.5) [2, 3]. Источниками взвешенных частиц PM2.5 могут быть как естественные (пыль, сажа, грязь или частицы почвы, споры растений и цветочная пыльца, а также дым от лесных пожаров), так и антропогенные (автотранспорт, выбросы промышленных предприятий, продукты сгорания угля или дров при отоплении). В последнее время количество и качество собираемых данных о концентрации частиц PM2.5, а также их детализация имеют тенденцию к росту. Поэтому помимо непосредственной работы с данными о загрязнениях и моделями их распространения уделяются большое внимание проблемам сбора и накопления информации о загрязнениях. В связи с этим представляет особый интерес оценка эффективности использования сетей недорогих пространственно-распределенных датчиков. Красноярск – один из немногих городов России, в котором ведется мониторинг концентрации частиц PM в атмосфере на нескольких независимых сетях. Во-первых, Министерство экологии и рационального природопользования Красноярского края поддерживает Краевую ведомственную информационно-аналитическую систему данных (КВИАС). Девять автоматизированных постов наблюдений (АПН) КВИАС расположены в г. Красноярске. В КВИАС для мониторинга концентрации PM2.5 используются анализаторы пыли модели E-ВAM (Met One Instruments Inc., США). Эти анализаторы признаны во всем мире в качестве эталонного оборудования для

измерения содержания фракций PM10 и PM2.5 в атмосфере, рекомендованы к использованию, сертифицированы и аккредитованы в России. Во-вторых, в г. Красноярск действует Система мониторинга качества воздуха Красноярского научного центра СО РАН (КНЦ СО РАН). Каждый пост оснащен сертифицированной станцией мониторинга воздуха CityAir, разработанной группой компаний из новосибирского технопарка и инновационного центра Сколково. Станции CityAir оснащены оптическими датчиками, уступающими по точности анализаторам E-ВAM. Система мониторинга КНЦ СО РАН имеет около 30 постов, расположенных в разных районах г. Красноярск, что обеспечивает хорошую детализацию информации о загрязнениях.

Целью нашей работы является корректировка показаний уровня концентрации взвешенных частиц PM2.5 в приземном слое атмосферы Красноярска станций CityAir с учетом данных по температуре.

Для достижения заявленной цели были поставлены следующие **задачи**:

1. Провести статистический анализ данных по концентрации PM2.5 в приземном слое атмосферы Красноярска с дублирующих постов сетей мониторинга ФИЦ КНЦ СО РАН и КВИАС;
2. Вывести правила калибровки показаний станций CityAir относительно эталонных станций E-ВAM, используя методы линейной регрессии;
3. На основании метеорологических показаний, полученных с исследуемых станций за тот же временной период выявить температурные сезоны, характерные для города Красноярска, и их влияние на точность калибровки датчиков.

Актуальность исследования заключается в оценке надежности и целеполагания использования сети недорогих датчиков, фиксирующих концентрацию загрязняющих веществ в пограничном слое атмосферы.

Предметом исследования послужили данные с 4 дублирующих постов, принадлежащих разным системам мониторинга.

В качестве **методов исследования** использовались статистические и графические инструменты, предлагаемые в модулях (numpy, pandas, matplotlib.pyplot, seaborn, datetime, sklearn.metrics) языка Python, методы линейной регрессии, метод Отцу из теории распознавания изображений.

Работа состоит из 3 глав, 38 страниц и содержит 10 рисунков и 6 таблиц.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В качестве маркера, характеризующего загрязнение воздуха в приземном слое атмосферы современных городов, часто используется уровень концентрации твердых частиц диаметром 2.5 микрона и меньше, что приводит к развитию сетей сбора таких данных. В работе обсуждается практика применения для измерения концентрации PM_{2.5} в условиях городской среды относительно дешевого оптического датчика, входящего в состав станции CityAir. В статье предложена корректировка полученных станциями CityAir первичных данных о значениях концентрации взвешенных частиц PM_{2.5} в приземном слое атмосферы г. Красноярска. Для построения регрессионных моделей эталонными считались измерения, получаемые от анализаторов E-VAM, расположенных на тех же постах наблюдения, что и корректируемые датчики. В работе продемонстрировано, что при корректировке показаний датчиков необходимо учитывать показания температуры.

На основе проведенного анализа можно сделать следующие выводы.

1. В отсутствие возможности использовать данные о сезоне для корректировки показаний датчика CityAir корректировка может быть произведена только по усредненным данным. Усреднение данных сохраняет тренд и позволяет избавиться от шума, вызванного сбоями в измерениях при низких концентрациях. При этом, по-видимому, усреднение с длинным временным окном работает хуже, чем почасовое усреднение, поскольку сглаживает общие шаблоны, характерные для динамики поведения данных. Однако, объективного ответа на этот вопрос пока дать не представляется возможным из-за ограниченного и недостаточного числа парных датчиков.
2. Параметры корректировки уровня концентрации PM_{2.5} с помощью регрессионной модели существенно зависят от сезона. При этом гистограмма распределения наблюдений за температурой в Красноярске определяет три сезона. В работе приведено сравнение моделей корректировки, построенных

с учетом метеорологических данных, выделенных согласно календарному подходу и с учетом информации о гистограмме распределения температуры. Для выделения сезонов согласно гистограмме из теории распознавания изображений был перенесен и немного модифицирован метод Отцу. Результаты исследований показали, что разделение по гистограмме дает наиболее приемлемый вклад в модели калибровки датчиков.

Отметим, что развитие методов разделения многомодально распределенных данных на выборки максимальной мощности, имеющих унимодальные распределения, остается перспективным как для решения задачи калибровки (здесь метод Отцу показал применимость и важность таких подходов), так и для задачи выделения фонового уровня загрязнений. Эти вопросы не затронуты в текущей работе и остаются намерениями для будущих исследований.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рейтинг городов по качеству воздуха и загрязнению атмосферы // Сервис IQAir : [сайт]. – URL: <https://www.iqair.com/ru/world-air-quality-ranking> (дата обращения 01.03.2023).
2. Chae, S. PM10 and PM2.5 real-time prediction models using an interpolated convolutional neural network / S. Chae, J. Shin, S. Kwon [et al.] // Science Report. – 2021. – Vol. 11, Iss. 1. – P. 11952.
3. Yang, J. PM2.5 concentrations forecasting in Beijing through deep learning with different inputs model structures and forecast time / J. Yang, R. Yan, M. Nong, J. Liao, F. Li, W. Sun // Atmospheric Pollution Research. – Vol. 12, Iss. 9. – P. 101168.
4. Kim, B. Short-term prediction of particulate matter (PM10 and PM2.5) in Seoul, South Korea using tree-based machine learning algorithms / B. Kim, Y. Lim, J. Wan Cha // Atmospheric Pollution Research. – 2022. – Vol. 13, Iss. 10. – P. 101547.
5. Perrino, C. Influence of atmospheric stability on the mass concentration and chemical composition of atmospheric particles: A case study in Rome, Italy / C. Perrino, M. Catrambone, A. Pietrodangelo // Environment International. – 2008. – Vol. 34, Iss. 5. – P. 621-628.
6. Perez, P. PM2.5 forecasting in Coyhaique, the most polluted city in the Americas / P. Perez, C. Menares, C. Ramírez // Urban Climate. – 2020. – Vol. 23. – P. 100608.
7. Zhang, Zh. Forecasting PM2.5 and PM10 concentrations using GMCN(1,N) model with the similar meteorological condition: Case of Shijiazhuang in China / Zh. Zhang, L. Wu, Y. Chen // Ecological Indicators. – 2020. – Vol. 119. – P. 106871.
8. Zavoruev, V.V. Assessment of the possibility of using CityAir air monitoring station in environmental engineering / V.V. Zavoruev [et al.] // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. – 2019. – Vol. 537, Iss. 5. – P. 062053.


9. Токарев, А.В. Роль метеоусловий и рельефа местности в загрязнении атмосферы города Красноярска (Россия) / А.В. Токарев, Н.Я. Шапарев, О.Э. Якубайлик // Международная конференция по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды ENVIRONMENTIS-2020. – Т. 2020. – С. 262-264.
10. Володько, О.С. Анализ метеорологических данных модели реанализа NCEP GFS для атмосферы г. Красноярска / О.С. Володько, Н.А. Буряк, А.В. Дергунов // Нейроинформатика, её приложения и анализ данных: Материалы XXVII Всероссийского семинара. Красноярск. – Красноярск, 2022. – С. 34-38.
11. Otsu, N. A threshold selection method from gray-level histograms / N. Otsu // IEEE Trans. Sys., Man., Cyber.: journal. – 1979. – Vol. 9, Iss. 1. – P. 62-66.
12. E-BAM particulate monitor operation manual // Metone.com : [сайт]. – URL: <https://metone.com/wpcontent/uploads/2022/06/E-BAM-9805-Manual-Rev-G.pdf> (дата обращения 08.05.2023).
13. Обнаружение объектов методом Оцу // Хабр : [сайт]. – URL: <https://habr.com/ru/articles/112079/> (дата обращения 08.05.2023).

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт математики и фундаментальной информатики
Базовая кафедра вычислительных и информационных технологий

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 /В.В. Шайдуров

« 21 » 06 2024г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Направление 02.03.01 – Математика и компьютерные науки

**КОРРЕКТИРОВКА ПОКАЗАНИЙ ПО КОНЦЕНТРАЦИИ PM2.5
НЕДОРОГИХ ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ПРОСТРАНСТВЕННО-
РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СЕТИ С УЧЁТОМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ**

Руководитель


21.06.2024

доцент, кандидат физико-
математических наук

В.С. Петракова

Выпускник

Мом.
21.06.2024


О.В. Тюкавкина

Нормоконтролер

21.06.2024.

Т.Н. Шипина

Красноярск 2024