

УДК 628.511:502.3

Н. С. Бакин, Е. А. Товаренко, Н. С. Жукова

Волгоградский государственный технический университет

АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ КОНЦЕНТРАЦИИ ПЫЛИ В ВОЗДУХЕ У СОЛЕОТВАЛА ОТ КОЛЕБАНИЙ ТЕМПЕРАТУРНОГО И ВЛАЖНОСТНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ В ХОЛОДНОЕ ВРЕМЯ ГОДА

Проведен анализ экспериментальных исследований загрязнения атмосферного воздуха частицами PM_{2,5} и PM₁₀ вблизи солеотвала. Исследования проводились в холодное время года для определения зависимости концентрации пыли PM_{2,5} и PM₁₀ от температурного и влажностного факторов.

Ключевые слова: пыль, солеотвал, калийные удобрения, загрязнение воздуха, твердые взвешенные частицы.

Введение

Добыча минеральных удобрений сопровождается образованием большого количества отходов. Жидкие сливаются в пруды-накопители, твердые складываются в солеотвалы.

Солеотвалы располагаются на открытой площадке, и в атмосферу в процессе складирования и хранения выделяются частицы пыли разного диаметра — от конвейерных лент, расположенных на территории солеотвала, пере-сыпки отходов и непосредственно с поверхности солеотвала. Загрязняющие вещества (ЗВ), выделяющиеся в этих процессах, оказывают негативное влияние как на воздушную среду территории предприятия, так и на атмосферу близлежащих населенных пунктов, что может привести к возникновению заболеваний дыхательных путей у работников и населения [1]. Ввиду этого возникает проблема грамотной оценки загрязнения атмосферы частицами пыли, выделяемых солеотвалами.

Ранее уже рассматривались различные методы оценки загрязнения атмосферного воздуха. В работах [2—9] уделено внимание моделированию рассеивания частиц пыли в различных климатических условиях, однако специфические особенности солеотвалов требуют дополнительных исследований для более точной оценки их воздействия на окружающую среду.

Методология проведения работы

В изучении атмосферных загрязнений важным аспектом является влияние температурных режимов и влажностного показателя [10]. Это влияние значительно варьируется в зависимости от времени года и климатических условий.

Зимой часто наблюдаются температурные инверсии, когда более холодный воздух скапливается у поверхности земли, а более теплый воздух находится выше. Инверсия приводит к скоплению ЗВ, включая мелкодисперсную пыль, в приземном слое атмосферы. В результате концентрации ЗВ у земли значительно возрастают, что может оказать негативное влияние на качество воздуха и здоровье людей [11—12].

Для зимы также характерны слабый ветер и низкая турбулентность воздуха. Эти условия способствуют уменьшению рассеивания пыли, что приводит к тому, что она дольше остается вблизи источников выбросов. В холодное время года увеличивается вероятность конденсации водяного пара на частицах пыли. Конденсация способствует образованию более крупных частиц, оседающих быстрее, что, в свою очередь, может уменьшить концентрацию мелкодисперсной пыли в воздухе.

Весной, с повышением температуры, вертикальное перемешивание воздуха становится более активным, что способствует более эффективному рассеиванию пыли. Усиление ветра и турбулентности в этот период также ведет к снижению концентраций ЗВ в приземном слое.

Летом высокие температуры способствуют образованию конвективных потоков, которые поднимают воздух и способствуют его перемешиванию, ускоряющему рассеивание пыли в атмосфере. В летний период также наблюдаются более интенсивные ветры и высокая турбулентность воздуха, что способствует эффективному горизонтальному и вертикальному рассеиванию пыли. Пониженная влажность воздуха в летний период может приводить к увеличению количества пыли в воздухе, т. к. уменьшается вероятность конденсации и оседания частиц.

Осенью, с понижением температур, уменьшается интенсивность конвективных потоков, что замедляет вертикальное перемешивание и рассеивание пыли. Увеличение влажности осенью способствует конденсации водяного пара на частицах пыли, ускорению их оседания и уменьшению концентрации мелкодисперсной пыли в воздухе. Переменные ветры осенью также могут по-разному влиять на рассеивание пыли в зависимости от конкретных метеорологических условий [13—16].

Влияние температурных режимов на рассеивание мелкодисперсной пыли в атмосфере сильно зависит от времени года и связанных с ним климатических условий. Зимой и осенью наблюдаются условия, способствующие задержке пыли в приземном слое атмосферы, тогда как весной и летом повышенные температуры и усиленные ветры способствуют более эффективному рассеиванию ЗВ.

Влажность воздуха играет значительную роль в процессе рассеивания мелкодисперсной пыли в атмосфере. При высокой влажности водяной пар в атмосфере может конденсироваться на поверхности пылевых частиц, образуя более крупные капли. Этот процесс увеличивает размеры частиц пыли, ускоряя их оседание и уменьшая общую концентрацию мелкодисперсной пыли в атмосфере.

Многие мелкодисперсные частицы, особенно те, которые содержат соли и другие гигроскопичные вещества, способны адсорбировать воду из воздуха при высокой влажности. Это приводит к увеличению их массы и размеров, что также способствует более быстрому оседанию частиц на поверхность земли [17, 18].

Высокая влажность может также влиять на структуру и поведение атмосферной турбулентности. Влажный воздух имеет другую плотность и температуру по сравнению с сухим, что может изменить турбулентные потоки и соответственно рассеивание пыли.

Влияние влажности на рассеивание пыли варьируется в зависимости от времени года. В зимний период влажность часто повышается из-за низких температур и способствует конденсации водяного пара на частицах пыли и их последующему оседанию.

Летом, несмотря на возможную высокую влажность, теплая погода способствует образованию конвективных потоков, которые могут способствовать рассеиванию пыли. Сухие периоды могут приводить к увеличению концентрации пыли из-за меньшей вероятности осадков.

Весной и осенью, которые являются переходными сезонами, наблюдаются переменные условия влажности, что по-разному влияет на рассеивание пыли. Весной влажность часто повышается за счет таяния снега и дождей и способствует очистке воздуха от пыли. Осенью увеличение влажности и частые осадки также способствуют уменьшению концентрации мелкодисперсных частиц.

Таким образом, высокая влажность способствует уменьшению концентрации мелкодисперсной пыли в атмосфере через процессы конденсации, увеличения размеров частиц и выпадения осадков, что делает воздух чище.

Для подтверждения влияния температурного и влажностного показателей на изменение концентрации мелкодисперсной пыли проведены исследования на территории горно-обогатительного комбината (ГОК) в южном регионе РФ в различной удаленности от солеотвала.

Измерения проводились при повышенной влажности и низкой температуре воздуха, что характерно для зимнего периода в данном регионе. На момент измерений относительная влажность воздуха составляла около 70 %, температура находилась в диапазоне от -2 до $+3$ °C. Эти условия способствуют конденсации водяного пара на частицах пыли, что влияет на их размеры и концентрацию в воздухе.

Для измерений использовался мобильный измеритель концентрации пыли AirExpert Mini PM, предназначенный для измерения концентрации фракций пыли PM₁, PM_{2,5}, PM_{4,25}, PM₁₀. Прибор учитывает температуру и влажность воздуха, это позволяет корректировать данные с применением регрессионного анализа.

На рисунке 1 показаны точки измерения, расположенные на территории ГОКа. Основное внимание уделялось солеотвалу, как одному из основных источников пыления. Точки измерений выбирались в зависимости от удаленности от него и направления ветра в момент измерений [19]. Вид солеотвала во время проведения измерений представлен на рис. 2.

Измерения осуществлялись во время пешего перемещения по маршруту, указанному на рис. 3, с остановками в заранее определенных точках. Такой подход позволил собрать данные о концентрации пыли в различных частях территории и при изменяющихся метеорологических условиях.

В результате измерений получены графики изменения концентраций фракций PM_{2,5} и PM₁₀ в зависимости от параметров температуры и влажности воздуха. Эти графики представлены на рис. 4.

Анализ данных показал, что концентрация пыли значительно варьируется в зависимости от изменений температуры и влажности, что подтверждает необходимость учета этих факторов при мониторинге загрязнения воздуха [20].



Рис. 1. Спутниковый снимок территории ГОКа с отметками точек измерений



Рис. 2. Солеотвал



Рис. 3. Карта территории ГОКа с отметками перемещений прибора измерений концентраций

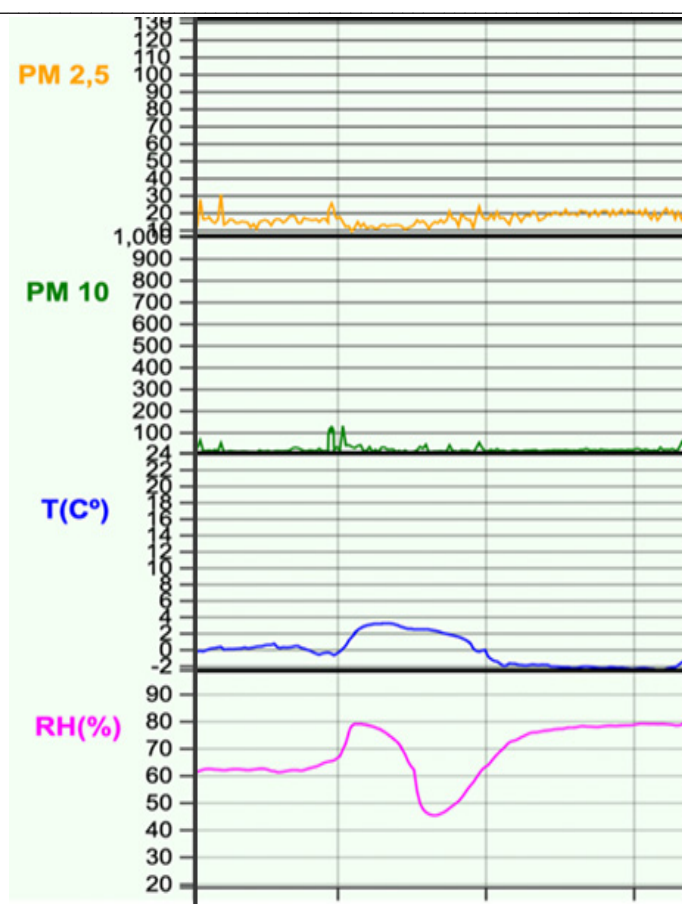


Рис. 4. Графики зависимости изменения концентрации PM 2,5 и PM 10, сопоставленные с изменением параметров температуры и влажности

Заключение

При температуре $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ и повышении относительной влажности до 80 % наблюдалось возрастание концентрации частиц PM10 до 120 мкг/м^3 и снижение концентрации частиц PM 2,5 до значения $< 10\text{ мкг/м}^3$.

На исследуемом объекте зимой концентрация мелкодисперсной пыли в приземном слое атмосферы значительно возрастает из-за температурных инверсий и низкой турбулентности воздуха. В этих условиях пыль дольше остается вблизи источников выбросов, что может привести к увеличению случаев респираторных заболеваний. Конденсация водяного пара на частицах пыли в холодное время года способствует образованию более крупных частиц, которые оседают быстрее, уменьшая концентрацию мелкодисперсной пыли в воздухе.

Влияние температурных режимов и влажности на рассеивание мелкодисперсной пыли в атмосфере требует учета при мониторинге загрязнения воздуха. Полученные результаты подчеркивают необходимость проведения дальнейших исследований для разработки эффективных мер по снижению загрязнения атмосферы и улучшению экологической обстановки на территории ГОКа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сеимова Г. В. Оценка воздействия эксплуатируемых солеотвалов горно-обогатительных комбинатов по добыче калийных солей на элементы экосистемы // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 50(69). С. 303—311.
2. Ляшенко Н. В., Лепихова В. А. Влияние метеорологических характеристик на определение потенциала загрязнения атмосферы // Известия высших учебных заведений. 2023. № 2(98).
3. Сысоева Е. В., Гельманова М. О. Методы расчета рассеивания загрязняющих веществ в городской атмосфере // Вестник Московского государственного строительного университета. 2022. № 8. С. 45—51.
4. Особенности мониторинга загрязнения атмосферного воздуха в линейных и компактных городах на примере Волгограда и Ставрополя / В. Н. Азаров, Ю. П. Иванова, Е. В. Соколова, А. А. Сахарова, О. О. Иванова, Л. М. Арзамаскова, О. В. Коновалов // Известия высших учебных заведений. 2023. № 8(104).
5. Влияние метеорологических условий на рассеивание вредных выбросов в городской среде / Ю. П. Иванова, Б. Ю. Надер, В. А. Мишаков, Ю. А. Шаповалова, О. О. Иванова, В. Н. Азаров // Инженерный вестник Дона. 2020. № 1. 11 с. URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N1y2020/6263>.
6. Zhukova N. S., Kalyuzhina E. A., Azarov A. V., Strelyaeva A. B. Calculation models for the dispersed composition integral functions approximation of the dust in the air // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 913. P. 1. 8 p. DOI: 10.1088/1757-899X/913/5/052036.
7. Zhukova N. S., Dobrinsky D. R., Azarov A. V. Reduction of pollutant concentrations under adverse weather conditions with optical dynamic measurement systems // Industrial Engineering, Applications and Manufacturing. International Conference : Proceedings. 2017. 3 p. DOI: 10.1109/ICIEAM.2017.8076488.
8. Nieuwstadt F. T. M., Van Dop H. Atmospheric Turbulence and Air Pollution Modeling // D. Reidel Publishing Company: Dordrecht. The Netherlands, 1982. 358 p.
9. Daly A., Zannetti P., Al-Ajmi D., Al-Rashied S. Air pollution modeling—an overview in ambient air pollution // The EnviroComp Institute: Half Moon Bay, CA. USA, 2007. Pp. 15—28.
10. Pu B., Ginoux P. Climatic factors contributing to long-term variations in surface fine dust concentration in the United States // Atmospheric Chemistry and Physics. 2018. Vol. 18. Pp. 4201—4215.
11. Seimova G. V., Stefanenko I. V., Kalashnikova M. S. Dust dispersion modeling of the urban environment air nearby the potash production // Applied Mechanics and Materials : Proceedings of the International Conference Civil, Architectural, Structural and Constructional Engineering II. 2017. Vol. 878. Pp. 263—268. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.878.263.
12. Godish T., Davis W.T., Fu J.S. Air quality. CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2014.
13. Гаспарян А. С., Соловьева Т. В., Азаров В. Н. Проверка выполнения закона Вейбулла для направлений ветра со степной зоны Волгоградской области // Экономика строительства и природопользования. 2023. № 1(86). С. 131—137.
14. Акимов Л. М., Акимов Е. Л. Сезонная динамика и пространственное распределение концентраций антропогенных загрязнителей в воздухе г. Воронеж // Региональные геосистемы. 2021. Т. 45. № 4. С. 545—557.
15. Крюкова С. В., Симакина Т. Е. Оценка влияния метеорологических параметров на концентрации загрязняющих веществ в атмосфере Санкт-Петербурга // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 5—2. С. 299—305.
16. Megaritis A. G., Fountoukis C., Charalampidis P. E. Response of fine particulate matter concentrations to changes of emissions and temperature in Europe // Atmospheric Chemistry and Physics. 2013. Vol. 13 Pp. 3423—3443.
17. Ивлев Л. С. Механизмы образования и распада атмосферных аэрозолей и облачности и их экологическое значение // Биосфера. 2013. Т. 5. № 2. С. 182—210.
18. Калашникова М. С., Сеимова Г. В. Исследование дисперсного состава пыли, выделяемой при складировании и хранении отходов калийного производства // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Вып. 41(60). С. 63—73.
19. Аликов А. В., Сущенко Р. В., Мензелинцева Н. В. Картографирование загрязнения атмосферного воздуха города с использованием мобильных пылемеров серии AirExpert Mini //

Инженерный вестник Дона. 2024. № 4. С. 12.
URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2024/9123>.

20. Азаров В. Н., Мензелинцев Н. В., Кабаева И. В. Совершенствование методов расчета рассеивания пылевых выбросов на предприятиях стройиндустрии // Энергоэффективность Волгоградской области. 2006. № 6. С. 45—50.

© Бакин Н. С., Товаренко Е. А., Жукова Н. С., 2025

Поступила в редакцию
в декабре 2024 г.

Ссылка для цитирования:

Бакин Н. С., Товаренко Е. А., Жукова Н. С. Анализ зависимости концентрации пыли в воздухе у солей от колебаний температурного и влажностного показателя в холодное время года // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2025. Вып. 1(98). С. 205—211. DOI: 10.35211/18154360_2025_1_205.

Об авторах:

Бакин Никита Сергеевич — аспирант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Товаренко Екатерина Алексеевна — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Жукова Наталия Сергеевна — канд. техн. наук, доц., доц. каф. безопасности жизнедеятельности в строительстве и городском хозяйстве, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; pns15@yandex.ru

Nikita S. Bakin, Ekaterina A. Tovarenko, Natalia S. Zhukova

Volgograd State Technical University

ANALYSIS OF THE DEPENDENCE OF DUST CONCENTRATION IN THE AIR NEAR THE SALT DISPOSAL FROM FLUCTUATIONS IN TEMPERATURE AND HUMIDITY INDICATORS IN THE COLD SEASON

The analysis of experimental studies of atmospheric air pollution by particles PM_{2.5} and PM₁₀ near the salt dump has been carried out. The studies were conducted in the cold season to determine the dependence of the concentration of PM_{2.5} and PM₁₀ dust on temperature and humidity factors.

Key words: dust, salt dump, potash fertilizers, air pollution, suspended solids.

For citation:

Bakin N. S., Tovarenko E. A., Zhukova N. S. [Analysis of the dependence of dust concentration in the air near the salt disposal from fluctuations in temperature and humidity indicators in the cold season]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2025, iss. 1, pp. 205—211. DOI: 10.35211/18154360_2025_1_205.

About authors:

Nikita S. Bakin — Postgraduate student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

Ekaterina A. Tovarenko — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

Natalia S. Zhukova — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; pns15@yandex.ru