

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.55>**ОЦЕНКА КОНЦЕНТРАЦИИ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ПЫЛИ (PM2.5 И PM10) В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА ВОРОНЕЖА**

Научная статья

Клепиков О.В.^{1,*}, Шиш А.В.², Смотров А.С.³, Беляева А.В.⁴¹ ORCID : 0000-0001-9228-620X;^{1,2,3,4} Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (klepa1967[at]rambler.ru)

Аннотация

Изучению влияния твердых пылевых частиц на здоровье населения в последнее десятилетие посвящено достаточно большое число исследований в которых обращено внимание на то, что на территориях с высоким содержанием твердых пылевых мелкодисперсных частиц болезни органов дыхания, сердечно-сосудистой системы, рака легких встречаются чаще, чем в относительно благополучных районах. Это делает оценку содержания мелкодисперсных фракций пыли в атмосферном воздухе актуальной. Целью исследования являлось определение концентрации мелкодисперсной пыли в атмосферном воздухе на территории города Воронежа (2024 г.). Для измерения концентраций мелкодисперсных фракций пыли применялся анализатор пыли «Атмас» БВЕК 610000.001. Концентрация мелкодисперсной пыли определялась в 6 контрольных точках, которые различаются по уровню техногенной нагрузки, т.е. наличию источников загрязнения. Результаты определения концентрации мелкодисперсной пыли (взвешенных частиц PM 2.5 и PM10) в атмосферном воздухе на территории города Воронежа свидетельствуют об отсутствии превышения гигиенических нормативов. Максимальная концентрация выявлена на ул. Лебедева, 2 в Левобережной промзоне: PM2.5 – 0,05±0,01 мг/м³, PM10 – 0,12±0,024 мг/м³. Перспективными направлениями исследований, запланированных на 2025 год, является оценка сезонных и суточных закономерностей изменения содержания в атмосферном воздухе мелкодисперсной пыли.

Ключевые слова: атмосферный воздух, мелкодисперсная пыль, промышленный город.**EVALUATION OF FINE DUST (PM2.5 AND PM10) CONCENTRATIONS IN THE SURFACE LAYER OF ATMOSPHERIC AIR OF VORONEZH TERRITORY**

Research article

Klepikov O.V.^{1,*}, Shish A.V.², Smotrov A.S.³, Belyaeva A.V.⁴¹ ORCID : 0000-0001-9228-620X;^{1,2,3,4} Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation

* Corresponding author (klepa1967[at]rambler.ru)

Abstract

Numerous studies have been dedicated to the research of the influence of dust particulate matter on the health of the population in the last decade, in which attention is drawn to the fact that in areas with a high content of fine dust particles, diseases of respiratory organs, cardiovascular system, lung cancer occur more often than in relatively favourable areas. This makes the evaluation of the content of fine dust fractions in the atmospheric air relevant. The aim of the study was to determine the concentration of fine dust in the atmospheric air in the territory of Voronezh (2024). To measure the concentrations of fine dust fractions, the dust analyser "Atmas" BVEK 610000.001 was used. The concentration of fine dust was determined in 6 control points, which differ in the level of technogenic load, i.e. the presence of pollution sources. The results of determining the concentration of fine dust (suspended particles PM 2.5 and PM10) in the atmospheric air in the territory of Voronezh indicate that there is no exceedance of hygienic standards. The maximum concentration was detected at Lebedeva St., 2 in Levoberezhnaya industrial zone: PM2.5 – 0.05±0.01 mg/m³, PM10 – 0.12±0.024 mg/m³. Prospective directions of research planned for 2025 are the assessment of seasonal and diurnal patterns of changes in the content of fine dust in the atmospheric air.

Keywords: atmospheric air, fine dust, industrial city.**Введение**

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), мелкодисперсная пыль способствует развитию таких заболеваний, как рак лёгких, инфекции дыхательных путей, сердечно-сосудистых заболеваний, а мелкие частицы (PM2.5, менее 2,5 микрон в диаметре) рассматриваются как потенциально опасный канцероген. В частности, в зарубежных исследованиях делается акцент на изучение взвешенных частиц мелкодисперсной фракции (PM2.5), в том числе содержащей тяжелые металлы [1], [2].

В этой связи в настоящее время развивается мониторинг дисперсного состава взвешенных веществ с применением различных инструментальных методов контроля. В частности, в работах П.А. Бармина с соавт. (2023) и О.П. Сидельниковой с соавт. (2023), делается акцент на применении для контроля уровня загрязнения атмосферного воздуха мелкодисперсными аэрозолями недорогих сенсорных датчиков частиц Nova SDS011, принцип действия которых основан на рассеивании лазерного излучения при попадании пылевых частиц в детектор-фотоприемник, генерируемые электрические сигналы которого прямо пропорциональны концентрации и диаметру пылевых частиц

[3], [4]. Хорошо также себя зарекомендовали портативные пылеанализаторы серии «Атмас», с использованием которых проведены исследования в г. Севастополь (2021) [5], [6], г. Арбакан (2022) [7].

Вероятный канцерогенный эффект от воздействия мелкодисперстной пыли связан с её составом. В частности анализу результатов мониторинга загрязнения атмосферного воздуха мелкодисперсной пылью посвящены научные исследования Л.М. Фатхутдиновой с соавт. (2021), проведенные в г. Казани и установившие, что содержание взвешенных веществ фракции РМ10 и РМ 2,5 в 2016-2020 гг. оставались стабильными. Однако в ряде случаев имели место превышения принятых в Российской Федерации ПДК (0,3 и 0,16 мг/м³ соответственно). По оценкам авторов, доминирующим веществом в составе мелкодисперсных фракций пыли являлась сажа (от 86 до 93%), далее следуют соединения кремния и меди, что представляет опасность для здоровья населения, т.к. мелкодисперсные частицы достигают нижних дыхательных путей и альвеолярной зоны [8].

При оценке токсического воздействия мелкодисперсных частиц на организм человека важным является знание информации об их распределении в дыхательных путях. Решению этой задачи посвящены экспериментальные исследования Н.В. Зайцевой с соавт. (2023), в которых сделан вывод, что компонентный состав мелкодисперсной пыли не влияет на закономерности оседания частиц в дыхательной системе, в частности свыше 65% осевших частиц в верхних дыхательных путях имеют размер более 10 мкм, в то время как в мокротах нижних дыхательных путей более 60% занимают фракции пыли РМ 2.5 и РМ 1.5, а оценка элементарного состава частиц свидетельствует о преобладании в их химическом составе кремния (17,29 – 51,4%) [9].

В этой связи исследования по оценке концентрации мелкодисперсной пыли в атмосферном воздухе городов являются актуальными.

Целью исследования являлось определение концентрации мелкодисперсной пыли в атмосферном воздухе на территории города Воронежа (2024 г.).

Методы и принципы исследования

В исследовании использовано приборное оснащение экоаналитической лаборатории факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета. В работе принимали участие студенты – соавторы статьи Смотров А.С. и Беляева А.В. Для измерения концентраций мелкодисперсных фракций пыли применялся анализатор пыли «Атмас» БВЕК 610000.001. Анализатор оснащен импактором со сменными насадками для фракционного разделения взвешенных аэрозольных частиц (РМ10, РМ2.5). Принцип действия прибора основан на заряде частиц пыли в поле коронного разряда, создаваемом высоковольтным электродом, и последующим их осаждением на поверхности датчика пыли, в качестве которого используется кварцевый пьезоэлемент. При осаждении частиц пыли на поверхность датчика происходит изменение частоты его колебаний, которое пропорционально массе осевшей пыли. Заявленная производителем прибора погрешность измерений составляет 20%. Анализатор занесен в Государственный реестр средств измерений под №61362-15 и допущен к применению в Российской Федерации (Сертификат RU.C.31.002.A № 59541 выдан 21.08.2015 г.).

В июле 2024 года проведены исследования концентрации мелкодисперстных фракций пыли в 6 контрольных точках территории города Воронежа. Измерения проводились в дни без осадков при скорости ветра от 0 до 4 м/с в дневное время.

Основные результаты

Из 6 контрольных точек (к/т) максимальная концентрация выявлена в к/т на ул. Лебедева, 2: РМ2.5 – 0,05±0,01 мг/м³, РМ10 – 0,12±0,024 мг/м³. Однако эти концентрации, а также концентрации взвешенных веществ в других точках по результатам измерений не превышали ПДК для воздуха населенных мест (табл. 1).

Таблица 1 - Содержание мелкодисперсной пыли (РМ2.5 и РМ10) в атмосферном воздухе на территории города Воронежа

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.55.1>

Точки отбора проб атмосферного воздуха (г. Воронеж)	Предполагаемый источник	Максимально разовая концентрация по результатам измерений, мг/дм ³ РМ2.5 *)ПДК _{м.р.} = 0,16 мг/м ³	Максимально разовая концентрация по результатам измерений, мг/дм ³ РМ10 *)ПДК _{м.р.} = 0,3 мг/м ³
ул. Лебедева, 2 (у поста гидромета, жилая застройка отсутствует, граница СЗЗ ТЭЦ-1)	Левобережная промзона (ТЭЦ-1, Воронеж-синтезкаучук, шинный завод, авиационный завод) + автотранспорт	0,05±0,01	0,12±0,024
ул. Кронштадтская, 1 (селитебная территория, частный сектор)	Левобережная промзона (ТЭЦ-1, Воронеж-синтезкаучук, шинный завод,	0,03±0,006	0,09±0,018

Точки отбора проб атмосферного воздуха (г. Воронеж)	Предполагаемый источник	Максимально разовая концентрация по результатам измерений, мг/дм ³ PM2.5 *)ПДК _{м.р.} = 0,16 мг/м ³	Максимально разовая концентрация по результатам измерений, мг/дм ³ PM10 *)ПДК _{м.р.} = 0,3 мг/м ³
	авиационный завод) + автотранспорт		
ул. Солнечная, д. 37 (на границе селитебной территории)	Коминтерновская промзона (ТЭЦ-2, производство тяжелых механических прессов АО "ТМП") + автотранспорт	0,02±0,004	0,11±0,022
Московский проспект, 90 (на границе селитебной территории)	Автотранспорт	0,02±0,004	0,08±0,016
Ул. Хользунова, 40 (территория учебного кампуса Воронежского государственного университета)	Фоновая точка в удалении от уличного автотранспорта и промышленных источников выбросов	0	0
Ул. Березовая роща, 8а (на границе селитебной территории)	Фоновая точка, рекреационная зона, Центральный парк	0	0

Примечание: *по СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», июль 2024 г

Обсуждение

Полученные нами результаты по определению содержания в атмосферном воздухе мелкодисперсных фракций пыли в целом согласуются с официальными данными Роспотребнадзора (Управления Роспотребнадзора по Воронежской области), подведомственные учреждения которого (ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области») в целях совершенствования системы мониторинга качества атмосферного воздуха и снижения риска для здоровья населения в рамках функционирования региональной системы социально-гигиенического мониторинга в 2023 году осуществляли отбор и анализ проб атмосферного воздуха на содержание взвешенных частиц мелкодисперсной пыли (PM2.5 и PM10) по разовым концентрациям на 5-ти маршрутных постах региональной системы социально-гигиенического мониторинга в городском округе город Воронеж (ул. Ростовская, 58/4; ул.60-й Армии, 27; пр. Патриотов, 24; ул. Берёзовая роща, 8а). На содержание PM2.5 и PM10 Роспотребнадзором в г. Воронеже проведено 84 исследования, превышений гигиенических нормативов не отмечено [10].

Следует отметить, что нашему исследованию присуще неопределенности, связанные с разовыми измерениями и их небольшим числом исключительно в летний период (практика студентов). Перспективной является оценка динамики концентраций мелкодисперсной пыли в течение сезонов года и времени суток. Так, исследованиями, проведенными в г. Санкт-Петербург, содержание взвешенных частиц PM10 и PM2,5 в атмосферном воздухе увеличивается в весенний и летний периоды года и связано с интенсивностью транспортных потоков [11]. Проявление сезонности концентрации фракций пыли PM10 и PM2,5 показана также в исследованиях, проведенных в г. Зонгулдак (Турция) [12]. Аналогичные исследования в г.Воронеже запланированы на 2025 год. Актуальной задачей является и определение химического состава мелкодисперсной пыли. Учитывая, что по данным Воронежский центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, в атмосферном воздухе на стационарном посту (ул, Лебедева, 44) в программу наблюдений включена и регистрируется сажа в концентрации 0,01-0,04 мг/м³, можно предположить, что она входит и в состав мелкодисперсной пыли.

Заключение

Результаты определения концентрации мелкодисперсной пыли (взвешенных частиц PM2.5 и PM10) в атмосферном воздухе на территории города Воронежа свидетельствуют об отсутствии превышения гигиенических нормативов. Максимальная концентрация выявлена на ул. Лебедева, 2 в Левобережной промзоне: PM2.5 – 0,05±0,01 мг/м³, PM10 – 0,12±0,024 мг/м³. Перспективными исследованиями является определение сезонных и суточных закономерностей изменения концентрации мелкодисперсных фракций пыли, а также определение её химического состава, поскольку на территории города Воронежа такие исследования еще не проводились.

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. Tomczak A. Long-term exposure to fine particulate matter air pollution and the risk of lung cancer among participants of the Canadian National Breast Screening Study / A. Tomczak, A.B. Miller, S.A. Weichenthal [et al.] // *International Journal of Cancer*. — 2016. — № 139 (9). — P. 1958–1966. — DOI: 10.1002/ijc.30255.
2. Gholizadeh A. Ecological and health risk assessment of exposure to atmospheric heavy metals / A. Gholizadeh, M. Taghavi, A. Moslem [et al.] // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. — 2019. — № 184. — P. 109622. — DOI: 10.1016/j.ecoenv.2019.109622.
3. Бармин П.А. Мониторинг загрязнения атмосферного воздуха пылевыми частицами PM2.5 датчиком NOVA SDS011 / П.А. Бармин, В.А. Багров, К.С. Кошкарев [и др.] // *Инженерный вестник Дона*. — 2023. — № 11 (107). — С. 725–733.
4. Сидельникова О.П. Использование недорогих датчиков частиц для мониторинга загрязнения атмосферного воздуха пылевыми частицами PM2.5 / О.П. Сидельникова, В.А. Багров, Ф.Г. Антонов [и др.] // *Экономика строительства и природопользования*. — 2023. — № 4 (89). — С. 50–59.
5. Калинская Д.В. Определение взвешенных аэрозолей в атмосферном воздухе по данным анализатора пыли АТМАС на примере г. Севастополя за 2021 год / Д.В. Калинская // *Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы. XXVIII Международный симпозиум. Томск*. — 2022. — № 28. — С. 290–298. — DOI: 10.56820/OAOPA.2022.15.82.001.
6. Вареник А.В. Исследование взвешенных микрочастиц в атмосфере береговой зоны Черного моря по натурным и спутниковым данным / А.В. Вареник, Д.В. Калинская, А.В. Мыслина // *Морской гидрофизический журнал*. — 2021. — № 3 (219). — С. 350–361. — DOI: 10.22449/0233-7584-2021-3-350-361.
7. Русман Д.Р. Исследование атмосферного воздуха в жилых районах города Абакана на предмет загрязнения взвешенными частицами PM 2.5 / Д.Р. Русман, Т.В. Темеров // *E-Scio*. — 2022. — № 1 (64). — С. 99–107.
8. Фатхутдинова Л.М. Характеристика загрязнения атмосферного воздуха мелкодисперсными взвешенными веществами на основе данных регионального мониторинга / Л.М. Фатхутдинова, Г.А. Тимербулатова, Е.П. Бочаров [и др.] // *Токсикологический вестник*. — 2021. — № 6. — С. 24–32. — DOI: 10.36946/0869-7922-2021-29-6-24-32.
9. Зайцева Н.В. Распределение твёрдых частиц микроразмерного диапазона в дыхательных путях человека: натуральный эксперимент / Н.В. Зайцева, Д.А. Кириянов, С.В. Клейн [и др.] // *Гигиена и санитария*. — 2023. — № 5. — С. 412–420. — DOI: 10.47470/0016-9900-2023-102-5-412-420.
10. Доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Воронежской области в 2023 году». — Воронеж: Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Воронежской области, 2024 — 199 с. — URL: https://36.rosпотребнадзор.ru/download/dokl_seb_2023.pdf (дата обращения: 28.10.2024).
11. Аликбаева Л.А. Оценка содержания взвешенных веществ PM 10 и PM 2,5 в атмосферном воздухе Санкт-Петербурга / Л.А. Аликбаева, С.П. Колодий, Д.О. Шашкова [и др.] // *Профилактическая и клиническая медицина*. — 2022. — № 4 (85). — С. 5–12. — DOI: 10.47843/2074-9120_2022_4_5.
12. Батур М. Пространственные и временные тренды содержания твердых частиц (мелких PM2,5 и крупных PM10) в атмосфере над Зонгулдаком, Турция: месячный, сезонный и годовой анализ данных / М. Батур // *Метеорология и гидрология*. — 2022. — № 11. — С. 56–70. — DOI: 0.52002/0130-2906-2022-11-56-70.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Tomczak A. Long-term exposure to fine particulate matter air pollution and the risk of lung cancer among participants of the Canadian National Breast Screening Study / A. Tomczak, A.B. Miller, S.A. Weichenthal [et al.] // *International Journal of Cancer*. — 2016. — № 139 (9). — P. 1958–1966. — DOI: 10.1002/ijc.30255.
2. Gholizadeh A. Ecological and health risk assessment of exposure to atmospheric heavy metals / A. Gholizadeh, M. Taghavi, A. Moslem [et al.] // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. — 2019. — № 184. — P. 109622. — DOI: 10.1016/j.ecoenv.2019.109622.
3. Barmin P.A. Monitoring zagryaznenija atmosfernogo vozduha pylevymi chastitsami PM2.5 datchikom NOVA SDS011 [Monitoring of atmospheric air pollution by PM2.5 dust particles by NOVA SDS011 sensor] / P.A. Barmin, V.A. Bagrov, K.S. Koshkarev [et al.] // *Engineering Bulletin of the Don*. — 2023. — № 11 (107). — P. 725–733. [in Russian]
4. Sidel'nikova O.P. Ispol'zovanie nedorogih datchikov chastits dlja monitoringa zagryaznenija atmosfernogo vozduha pylevymi chastitsami PM2.5 [The use of inexpensive particle sensors to monitor atmospheric air pollution by PM2.5 dust particles] / O.P. Sidel'nikova, V.A. Bagrov, F.G. Antonov [et al.] // *Economics of Construction and Environmental Management*. — 2023. — № 4 (89). — P. 50–59. [in Russian]
5. Kalinskaja D.V. Opredelenie vzveshennyh aerorozlej v atmosfernom vozduhe po dannym analizatora pyli ATMAS na primere g. Sevastopolja za 2021 god [Determination of suspended aerosols in atmospheric air according to the ATMAS dust analyzer data on the example of Sevastopol in 2021] / D.V. Kalinskaja // *Optics of the atmosphere and ocean. Physics of the*

atmosphere. XXVIII International Symposium. Tomsk. — 2022. — № 28. — P. 290–298. — DOI: 10.56820/OAOPA.2022.15.82.001. [in Russian]

6. Varenik A.V. Issledovanie vzveshennykh mikrochastits v atmosfere beregovoj zony Chernogo morja po naturnym i sputnikovym dannym [Investigation of suspended microparticles in the atmosphere of the coastal zone of the Black Sea using natural and satellite data] / A.V. Varenik, D.V. Kalinskaja, A.V. Myslina // Marine Hydrophysical Journal. — 2021. — № 3 (219). — P. 350–361. — DOI: 10.22449/0233-7584-2021-3-350-361. [in Russian]

7. Rusman D.R. Issledovanie atmosfernogo vozduha v zhilyh rajonah goroda Abakana na predmet zagrjaznenija vzveshennymi chastitsami PM 2.5 [Investigation of atmospheric air in residential areas of the city of Abakan for pollution by suspended particles PM 2.5] / D.R. Rusman, T.V. Temerov // E-Scio. — 2022. — № 1 (64). — P. 99–107. [in Russian]

8. Fathutdinova L.M. Harakteristika zagrjaznenija atmosfernogo vozduha melkodispersnymi vzveshennymi veschestvami na osnove dannyh regional'nogo monitoringa [Characteristics of atmospheric air pollution by fine suspended solids based on regional monitoring data] / L.M. Fathutdinova, G.A. Timerbulatova, E.P. Bocharov [et al.] // Toxicological Bulletin. — 2021. — № 6. — P. 24–32. — DOI: 10.36946/0869-7922-2021-29-6-24-32. [in Russian]

9. Zajtseva N.V. Raspredelenie tverdyh chastits mikrorazmernogo diapazona v dyhatel'nyh putjah cheloveka: naturnyj eksperiment [Distribution of micro-sized solid particles in the human respiratory tract: a field experiment] / N.V. Zajtseva, D.A. Kir'janov, S.V. Klejn [et al.] // Hygiene and Sanitation. — 2023. — № 5. — P. 412–420. — DOI: 10.47470/0016-9900-2023-102-5-412-420. [in Russian]

10. Doklad «O sostojanii sanitarno-jepidemiologicheskogo blagopoluchija naselenija v Voronezhskoj oblasti v 2023 godu» [Report "On the state of sanitary and epidemiological welfare of the population in the Voronezh Region in 2023"]. — Voronezh: Department of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare in the Voronezh Region, 2024. — 199 p. — URL: https://36.rospotrebnadzor.ru/download/dokl_seb_2023.pdf (accessed: 28.10.24). [in Russian]

11. Alikbaeva L.A. Otsenka sodержanija vzveshennykh veschestv PM 10 i PM 2,5 v atmosfernom vozduhe Sankt-Peterburga [Assessment of the content of suspended solids PM 10 and PM 2.5 in the atmospheric air of St. Petersburg] / L.A. Alikbaeva, S.P. Kolodij, D.O. Stashkova [et al.] // Preventive and Clinical Medicine. — 2022. — № 4 (85). — P. 5–12. — DOI: 10.47843/2074-9120_2022_4_5. [in Russian]

12. Batur M. Prostranstvennye i vremennye trendy sodержanija tverdyh chastits (melkih PM_{2,5} i krupnyh PM₁₀) v atmosfere nad Zonguldakom, Turtsija: mesjachnyj, sezonnyj i godovoj analiz dannyh [Spatial and temporal trends in the content of particulate matter (small PM_{2.5} and large PM₁₀) in the atmosphere over Zonguldak, Turkey: monthly, seasonal and annual data analysis] / M. Batur // Meteorology and Hydrology. — 2022. — № 11. — P. 56–70. — DOI: 0.52002/0130-2906-2022-11-56-70. [in Russian]