

УДК 504.3.064.3. 87.17.91

<https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/16>

Пожитков Р.Ю.

**РАЗОВЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ  $PM_{2,5}$  И  $PM_{10}$  В ПРИЗЕМНЫХ СЛОЯХ АТМОСФЕРЫ г. ТОБОЛЬСК**

Pozhitkov R.Yu.

**SINGLE CONCENTRATIONS OF PARTICULATE MATTER  $PM_{2,5}$  AND  $PM_{10}$  IN THE LOWER LAYERS OF THE ATMOSPHERE OF TOBOLSK**

**Аннотация.** Целью работы является определение разовых концентраций взвешенных частиц в приземных слоях атмосферы г. Тобольск. Для достижения цели были поставлены следующие задачи: определить количество  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$  в различных функциональных зонах города; создать схемы количественного распределения взвешенных частиц по территории города; локализовать участки с повышенным уровнем загрязнения для проведения в них дальнейшего мониторинга; проанализировать влияние некоторых метеорологических показателей (температура и влажность воздуха) на содержание взвешенных частиц. Измерения выполнялись по неоднократно апробированной методике с помощью прибора “AIR TESTER CW-HAT 200”. Установлено, что в приземном воздушном слое г. Тобольск содержание  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$  невелико, средние геометрические значения составляют 5 и 7  $мкг/м^3$  соответственно, что значительно ниже установленных максимальных разовых концентраций по этому показателю. Наименьшие значения выявлены в зоне промышленного и коммунально-складского назначения, наибольшие – вблизи зоны автотрассы и в центре города, это позволяет утверждать, что основным источником поступления  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$  является автотранспорт. Локализованы два участка с повышенным уровнем загрязнения взвешенными частицами. Не выявлено значимых корреляционных связей между концентрациями  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$  и показателями температуры и влажности воздуха.

**Ключевые слова:** взвешенные частицы,  $PM_{2,5}$ ,  $PM_{10}$ , пылевое загрязнение, атмосфера, экологический мониторинг, Тобольск.

**Сведения об авторе:** Пожитков Роман Юрьевич, ORCID: 0000-0002-7957-1337, Тюменский научный центр СО РАН, г. Тюмень, Россия, [pozhitkov-roma@yandex.ru](mailto:pozhitkov-roma@yandex.ru).

**Abstract.** The aim of the work is to determine the single concentrations of particulate matter in the lower layers of the atmosphere of Tobolsk. To achieve this goal, the following tasks were set: to determine the amount of  $PM_{2,5}$  and  $PM_{10}$  in various functional zones of the city; to create schemes for the quantitative distribution of suspended particles throughout the city; to localize areas with high levels of pollution for further monitoring; to analyze the influence of certain meteorological indicators (temperature and humidity air) on the content of suspended particles. The measurements were performed according to the repeatedly tested method using the “AIR TESTER CW-HAT 200” device. It is established that in the lower air layers of Tobolsk the content of  $PM_{2,5}$  and  $PM_{10}$  is low, the average geometric values are 5 and 7  $ug/m^3$ , respectively, which is significantly lower than the established maximum single concentrations for this indicator. The lowest values were found in the industrial and utility and storage zones, the highest values were found near the highway zone and in the city center, which suggests that the main source of  $PM_{2,5}$  and  $PM_{10}$  is vehicles. Two sites with an increased level of pollution by suspended particles were localized. There were no significant correlations between  $PM_{2,5}$  and  $PM_{10}$  concentrations and air temperature and humidity.

**Keywords:** particulate matter,  $PM_{2,5}$ ,  $PM_{10}$ , dust pollution, atmosphere, environmental monitoring, Tobolsk.

**About the author:** Pozhitkov Roman Yur'evich, ORCID: 0000-0002-7957-1337, Tyumen Scientific Centre SB RAS, Tyumen, Russia, [pozhitkov-roma@yandex.ru](mailto:pozhitkov-roma@yandex.ru).

**Введение.** Наблюдения за экологическим состоянием и качеством воздушного пространства в условиях города являются важной и актуальной научной задачей, а проведение государственного мониторинга атмосферного воздуха необходимо [13]. Городские территории отличаются высокими темпами урбанизации, значительным числом промышленных объектов, большими количествами эксплуатируемых единиц автотранспорта. Все это в совокупности оказывает серьезное влияние на экологическую обстановку, вызывает рост ряда проблем, в их числе загрязнение атмосферы различными соединениями и взвешенными частицами (от англ. particulate matter (PM) – «взвешенные частицы»). Под понятиями  $PM_{10}$  и  $PM_{2,5}$  следует считать частицы пыли с аэродинамическим диаметром менее 10 и 2,5 микрон соответственно [11; 19]. Данные частицы представляют наибольшую опасность для здоровья населения, Всемирной организацией здравоохранения было установлено, что при их попадании в живые организмы значительно ухудшается состояние легочно-дыхательной, сердечно-сосудистой, нервной и других систем, а при долговременном воздействии отмечается преждевременная смертность [4]. Этим и объясняется возросшее количество работ по данной тематике в последние годы как отечественных, так и зарубежных исследователей. Исследовано содержание  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$  в атмосферном воздухе с территории жилых зон [2; 10]; представлены классификация,

источники поступления и методы мониторинга указанных частиц [14]. Содержание  $PM_{10}$  и  $PM_{2,5}$  в атмосферном воздухе является актуальным объектом изучения [1; 5]. Процесс изучения взвешенных частиц (PM) привлекает интерес и зарубежных исследователей. К.Ж. Maji, А.К. Dikshit, А. Deshpande, оценили влияние  $PM_{10}$  и  $PM_{2,5}$  на здоровье населения [23]. Другие актуальные исследования последних лет представлены в работах ряда ученых [15, 18; 24; 26].

Тобольск – промышленный город на севере Тюменской области с численностью населения немногим более ста тысяч человек. Неоднократно проводились исследования по оценке экологического состояния различных природных сред города и окрестностей, среди которых стоит отметить [9; 12], но в данных работах основными изучаемыми объектами являются почвы и снежный покров. Наблюдения за качеством и составом атмосферного воздуха практически не проводились, а с учетом того, что в Тобольске функционирует один из крупнейших в стране нефтехимических комбинатов, данные наблюдения имеют высокую степень актуальности. Исходя из вышесказанного целью данной работы является определение разовых концентраций взвешенных частиц  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$  в приземных слоях атмосферы различных функциональных зон г. Тобольска.

**Материалы и методы исследования.** Измерения разовых концентраций  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$  были выполнены 23 июня 2020 г. на территории г. Тобольск в 25 точках в различных функциональных зонах с помощью портативного счетчика взвешенных частиц “AIR TESTER CW-НАТ 200”.

Для того, чтобы спрогнозировать возможный перенос частиц пыли в органы дыхания населения, все замеры осуществлялись на высоте 170 см от поверхности земли. Для исключения случайных данных измерения проводились в трехкратной повторности, за контрольное значение принималось среднее геометрическое (поскольку распределение числовых значений взвешенных частиц не соответствовало нормальному закону распределения, в качестве средних значений было решено использовать среднее геометрическое из этих трех).

Применяемая методика определения  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$  с помощью указанного прибора хорошо зарекомендовала себя в ряде работ [21-22; 30]. Суть ее заключается в регистрации оптического излучения. Встроенный в прибор лазерный диод проецирует оптический луч, который при попадании в измерительную камеру рассеивается аэрозольными частицами, пересекающими луч. В результате полученное рассеянное излучение фиксируется фотоприемником. Величина рассеянного излучения прямо пропорциональна массовой концентрации частиц.

Схемы, представленные в работе, были построены с использованием программного обеспечения “ArcGIS 10.6.1”, в котором с помощью инструментов интерполяции раstra (интерполяции методом обратно взвешенных расстояний) выполнены схемы количественного распределения частиц  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$  в приземных слоях атмосферы г. Тобольск.

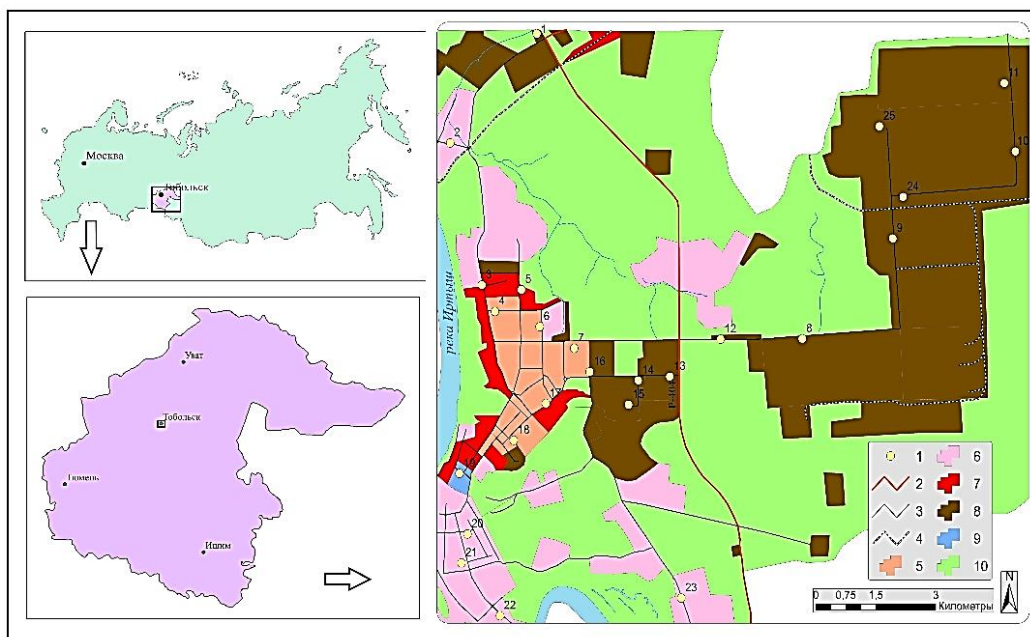
Статистическая обработка полученных результатов была выполнена с использованием программы Microsoft Office Excel. Определена зависимость количества взвешенных частиц от температуры и влажности воздуха в период выполнения измерений путем подсчета коэффициентов матрицы корреляции.

**Результаты и их обсуждение.** На рисунке 1 представлена схема функциональных зон г.Тобольск с нанесенными на нее точками выполненных измерений ([http://www.admtobolsk.ru/tob\\_grad/gen\\_plan/](http://www.admtobolsk.ru/tob_grad/gen_plan/)).

По результатам измерения разовых концентраций взвешенных частиц установлено, что приземные слои атмосферы г. Тобольск не подвергаются серьезной аэротехногенной нагрузке. Диапазоны варьирования невелики, среднее геометрическое для  $PM_{2,5}$  составляет 5 мкг/м<sup>3</sup> (диапазон варьирования – 2–13 мкг/м<sup>3</sup>); для  $PM_{10}$  – 7 мкг/м<sup>3</sup> (диапазон варьирования – 3–19 мкг/м<sup>3</sup>), что значительно меньше значений ПДК<sub>м.р.</sub> (максимальная разовая предельно допустимая концентрация), указанных в [11], которые равняются 300 и 160 мкг/м<sup>3</sup> для  $PM_{10}$  и  $PM_{2,5}$  соответственно. Выявленные невысокие значения позволяют говорить о том, что в целом в городе наблюдается благоприятная аэрогенная обстановка. Но важно отметить, что наблюдения данной работы являются разовыми, их основная цель – установить территории с наиболее загрязненными приземными слоями атмосферы для проведения в них дальнейшего долгосрочного мониторинга. Важно также отметить, что одной из возможных причин выявленных низких концентраций  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$  является тот факт, что измерения, представленные в данном исследовании, были произведены летом. Для содержания взвешенных частиц в воздухе характерна сезонная изменчивость из-за особенностей циркуляции атмосферы, так максимальные концентрации  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$  обычно фиксируются в зимний период, а минимальные – в летний.

Как известно, наибольшую опасность представляют частицы  $PM_{2,5}$  [4; 14]. Так как в отечественной литературе мало представлены материалы по содержанию данного загрязнителя в атмосфере сопредельных городов, для оценки (в геоэкологии, одним из методических приемов оценки

загрязнения является сравнение собственных данных с литературными) загрязнение было решено сравнить данные, полученные в результате исследования с данными за летний период по некоторым городам мира. Результат данного сравнения приведен в таблице 1.



**Рис. 1. Схема точек измерений и функциональных зон г. Тобольск: 1 – точки измерений; 2 – автотрасса Тюмень-Сургут; 3 – дороги внутригородского назначения; 4 – железная дорога; 5 – зона многоэтажной застройки; 6 – зона малоэтажной застройки; 7 – общественно-деловая зона; 8 – зона промышленного и коммунально-складского назначения; 9 – зона историко-культурного центра; 10 – зона зеленых насаждений, городских лесов и рекреации**

Таблица 1

**Концентрации взвешенных частиц  $PM_{2,5}$  в летний период в некоторых города мира, мкг/м**

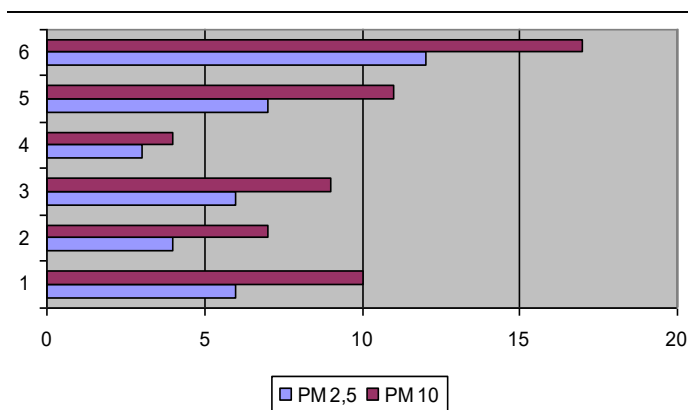
Страна, город	$PM_{2,5}$
Россия, Тобольск [данные автора]	5
Россия, Тюмень [8]	13
США* [16]	16,2
Китай, Пекин [29]	85,8
Бразилия* [17]	15,2
Япония, Иокогама [20]	20,8
Финляндия, Хельсинки [27]	12,1
Украина** [6]	23
Греция, Афинны [28]	25,3
Польша, Забже [25]	18,4

*Примечание:* \* – исследование проводилось в нескольких городах; \*\* – город исследования не указан.

Выполненное сравнение подтверждает достоверность полученных нами данных. Несмотря на то, что полученные значения несколько ниже, чем для остальных городов, результаты все же хорошо сопоставимы между собой. Важно отметить, что в указанных исследованиях измерения проводились в крупных городах и мегаполисах, именно поэтому содержания  $PM_{2,5}$  незначительно превышают наши данные. Исключением являются результаты исследования [29], где отмечена существенная разница с измерениями, представленными в нашей работе, но это легко объяснить тем, что загрязнение атмосферного воздуха является одной из главных экологических проблем современного Китая, так что завышенные концентрации взвешенных частиц для приземных слоев атмосферы китайских городов следует считать характерной особенностью страны.

Одной из задач работы было установить, какая из обследованных функциональных зон города является наиболее загрязненной взвешенными частицами, для этого измерения выполнялись в следующих зонах города согласно [7]: многоэтажной застройки, малоэтажной застройки,

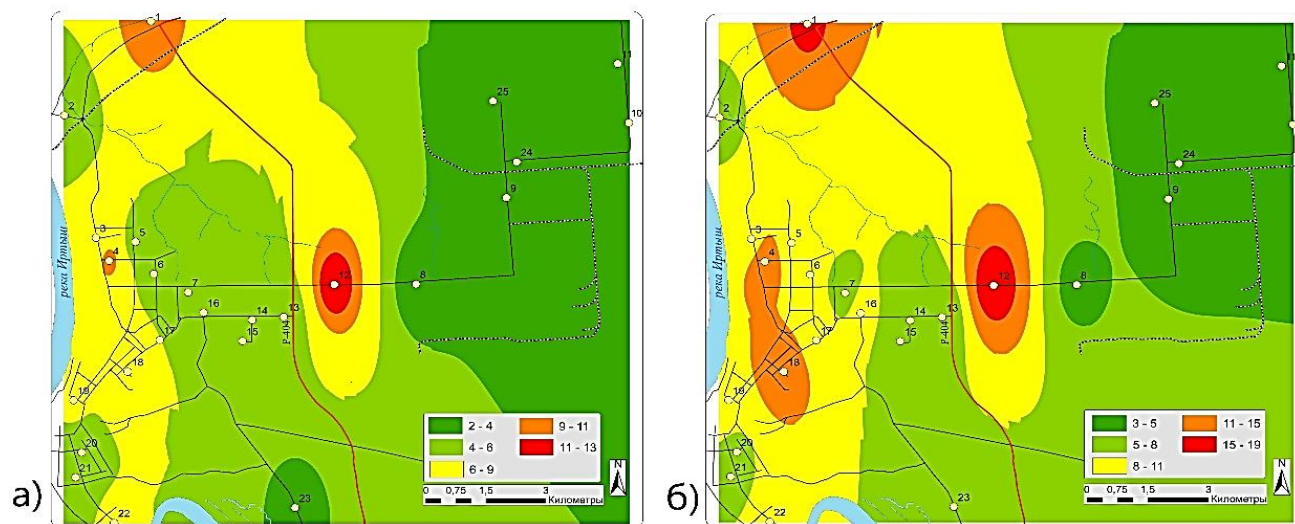
общественно-деловой, зоне промышленного и коммунально-складского назначения, зоне историко-культурного центра города, зоне автотрассы.



**Рис. 2.** Средние геометрические значения  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$  в различных функциональных зонах г. Тобольск: функциональные зоны (ось ординат): 1 – многоэтажной застройки; 2 – малоэтажной застройки; 3 – общественно-деловая; 4 – промышленного и коммунально-складского назначения; 5 – историко-культурного центра; 6 – автотрассы

Разделение точек измерений по функциональным зонам города позволило установить, что наибольший вклад в загрязнение приземных слоев атмосферы вносит автотранспорт. Измерения, выполненные вблизи автотрассы Р-404 (Тюмень – Сургут) показали наиболее высокие значения (среднее геометрическое составляет  $12 \text{ мкг/м}^3$  и  $17 \text{ мкг/м}^3$  для  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$  соответственно), но данные значения также не превышают значений ПДК<sub>м.р.</sub> Что касается распределения взвешенных частиц по остальным функциональным зонам города, то они практически идентичны для зон многоэтажной и малоэтажной застроек, общественно-деловой, зоны историко-культурного центра. Важно отметить, что наименьшие значения были выявлены в промышленной зоне. Ранее отмечалось, что содержание взвешенных частиц в талых снеговых водах с территории промзоны Тобольска практически идентично с фоновым содержанием (отмечены единичные превышения), отсутствует прямая связь между преимущественными направлениями распространения выбросов от промышленных источников и местоположением наиболее загрязненных участков [12].

Для того, чтобы визуализировать характер загрязнения взвешенными частицами города и идентифицировать локальные участки с повышенными значениями, были построены схемы распределения содержания  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$  по территории города. Результат приведен на рисунке 3.



*Примечание:* цветом отображаются диапазоны концентраций  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$ , в  $\text{мкг/м}^3$

**Рис. 3.** Схема распределения содержания взвешенных частиц в приземных слоях атмосферы г. Тобольск: а) –  $PM_{2,5}$ ; б) –  $PM_{10}$

Распределения взвешенных частиц разного аэродинамического диаметра весьма схожи. Выполненная работа позволила установить два очага повышенных значений, их локализация (точки № 1, 12) подтверждает тезис о том, что наибольшую негативную нагрузку на качество воздуха в приземных слоях атмосферы города оказывает именно автотранспорт ввиду того, что данные очаги

пространственно привязаны к зоне автотрассы. Отмечается также отдельный участок повышенных значений для  $PM_{10}$ , локализованный в центре города. Ввиду того, что, согласно функциональному зонированию города, данный участок не относится к зоне промышленного назначения, можно говорить о том, что источником более высоких концентраций  $PM_{10}$  также выступает автотранспорт. В работе [8] для города Тюмени выявленный участок с завышенными количествами взвешенных частиц, также пространственно расположен в центре города. В ходе исследования, вопреки ожиданиям, установлено, что функциональная зона промышленного и коммунально-складского назначения оказалась наиболее незагрязненной. В результате можно говорить о том, что крупные промышленные предприятия г. Тобольск не выступают основным источником аэротехногенного загрязнения и не оказывают значительного негативного влияния на состав и качество атмосферного воздуха на территории города.

Параллельно с основными измерениями определялись показатели относительной влажности и температуры воздуха. Для того, чтобы определить влияние этих показателей на концентрацию взвешенных частиц, была составлена матрица корреляции между этими параметрами (табл. 2).

Таблица 2

**Матрица корреляции между содержанием взвешенных частиц и некоторыми метеорологическими параметрами**

	$PM_{2,5}$	$PM_{10}$	$t^{\circ}C$	RH, %
$PM_{2,5}$	1			
$PM_{10}$	<b>0,932</b>	1		
$t^{\circ}C$	0,084	-0,096	1	
RH, %	-0,14	0,053	<b>-0,888</b>	1

*Примечание:* жирным цветом выделены значения, достоверные при доверительной вероятности  $p < 0,05$

Не выявлены существенные корреляционные связи между содержанием  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$  и такими метеорологическими показателями, как температура и влажность воздуха. Аналогичные выводы были получены в исследовании [8] для города Тюмень, а также в работе [22]. Следовательно, можно говорить о том, что количество взвешенных частиц в воздухе не зависит от указанных показателей, а оказывающими существенное влияние на число  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$  будут являться другие метеорологические факторы.

**Выводы.** По результатам измерений, выполненных 23 июня 2020 г., установлено, что средние геометрические значения  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$  значительно меньше ПДК<sub>м.р.</sub>, что позволяет говорить об умеренном аэротехногенном загрязнении приземных слоев атмосферы г. Тобольск. Полученные данные о содержании  $PM_{2,5}$  хорошо сопоставимы с результатами аналогичных работ других исследователей в различных городах мира. Определены два участка повышенного загрязнения для проведения дальнейшего долгосрочного мониторинга, установлены причины их локализации. Наиболее подверженной загрязнению взвешенными частицами является функциональная зона вблизи автотрассы, наименьшие обнаруженные значения  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$  отмечены в зонах промышленного и коммунально-складского назначения. Как итог, несмотря на наличие в городе крупных промышленных объектов, основным источником атмосферного загрязнения выступает автотранспорт. В работе не выявлено значимых корреляционных связей между содержанием  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$  и такими метеорологическими факторами, как температура и относительная влажность воздуха, аналогичные выводы были получены ранее для г. Тюмень, в котором основным источником взвешенных частиц также является автотранспорт. Следовательно, процесс загрязнения приземных слоев атмосферы крупных городов юга Тюменской области идет по одной специфике, где наименьшую роль играют выбросы от предприятий, наибольшую – выбросы от передвижных источников.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-05-50062\19).*

#### Литература

1. Азаров В.Н., Калюжина Е.А. Об организации мониторинга  $PM_{10}$  и  $PM_{2,5}$  на примере г. Волгограда // Вестн. Волгоград. гос. архитектурно-строительного ун-та. Сер. Строительство и архитектура. 2011. № 25(44). С. 398–401.
2. Боровлев А.Э. Исследования содержания мелкодисперсных частиц в атмосферном воздухе жилой зоны Белгорода // Региональные геосистемы. 2020. Т. 44, № 97. С. 97–103. DOI: 10.18413/2712-7443-2020-44-1-97-103
3. Власов Д.В., Касимов Н.С., Кошелева Н.Е. Геохимия дорожной пыли (Восточный округ Москвы) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5: География. 2015. № 1. С. 23–33.

4. Всемирная организация здравоохранения, Европейское региональное бюро. Обзор данных о воздействии загрязнения воздуха на здоровье – проект REVIHAAP. <https://clck.ru/VQuJ8>
5. Заворуева Е.Н., Заворуев В.В., Печенкин Ф.А. Концентрация взвешенных частиц в приземном слое атмосферы города Красноярска в 2013–2016 годах // *Путь науки*. 2017. №4(38). С. 13–15.
6. Маремуха Т.П., Петросян А.А. Загрязнение атмосферного воздуха фракциями мелкодисперсной пыли (PM10 и PM2,5) в районе функционирования угольной ТЭС // *Здоровье и окружающая среда*. 2016. Вып. 26. С. 39–42.
7. Официальный сайт администрации города Тобольска. [http://www.admtobolsk.ru/tob\\_grad/gen\\_plan/](http://www.admtobolsk.ru/tob_grad/gen_plan/)
8. Пожитков Р.Ю. Содержание взвешенных частиц PM<sub>2,5</sub> и PM<sub>10</sub> в приземном слое атмосферы г. Тюмени в июне 2020 г. // *Оптика атмосферы и океана*. 2020. Т. 33. №12(383). С. 913–917. DOI: 10.15372/AOO20201202
9. Попова Е.И. Определение фитотоксичности почв города Тобольска методом биотестирования // *Современные проблемы науки и образования*. 2016. №4. С. 216.
10. Просвирякова И.А., Шевчук Л.М. Оценка содержания твердых частиц PM<sub>10</sub> и PM<sub>2,5</sub> в атмосферном воздухе на территории жилой застройки в зоне влияния выбросов // *Здоровье и окружающая среда*. 2017. Вып. 27. С. 51–54.
11. РД 52.04.830-2015. Массовая концентрация взвешенных частиц PM<sub>10</sub> и PM<sub>2,5</sub> в атмосферном воздухе. Методика измерений гравиметрическим методом. СПб. ГГО им. А.И. Воейкова, 2015. 41 с.
12. Факашук Н.Ю., Соромотин А.В. Оценка состояния снежного покрова и почв Тобольской промзоны // *Вестник Тюменского государственного университета // Экология и природопользование*. 2017. Т. 3. №2. С. 22–33. <https://doi.org/10.21684/2411-7927-2017-3-2-22-33>
13. Федеральный закон от 4 мая 1999 г. №96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» (с исправлениями и дополнениями). М., 1999.
14. Шубабко Е.Н., Шубабко О.Э., Дорохов А.М. Влияние взвешенных частиц (пыли фракций PM<sub>10</sub> и PM<sub>2,5</sub>) на здоровье и жизнь людей // *Россия и славянские народы в XIX–XXI вв. сборник статей: Материалы международной научной конференции*. Брянск, 2020. С. 370–379.
15. Bae H. J. Effects of Short-term Exposure to PM 10 and PM 2.5 on Mortality in Seoul // *Journal of Environmental Health Sciences*. 2014. Vol. 40. №5. P. 346-354. <https://doi.org/10.5668/JEHS.2014.40.5.346>
16. Bell M. L., Dominici F., Ebisu K., Zeger S. L., Samet J. M. Spatial and temporal variation in PM<sub>2.5</sub> chemical composition in the United States for health effects studies // *Environmental health perspectives*. 2007. Vol. 115. №7. P. 989-995. <https://doi.org/10.1289/ehp.9621>
17. de Miranda R. M. et al. Urban air pollution: a representative survey of PM 2.5 mass concentrations in six Brazilian cities // *Air Quality, Atmosphere & Health*. 2012. Vol. 5. №1. P. 63-77. <https://doi.org/10.1007/s11869-010-0124-1>
18. Janssen N. A. H., Fischer P., Marra M., Ameling C., Cassee F. R. Short-term effects of PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5–10</sub> on daily mortality in the Netherlands // *Science of the Total Environment*. 2013. Vol. 463. P. 20-26. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.05.062>
19. Janssen N. A., Hoek G., Simic-Lawson M., et al. Black carbon as an additional indicator of the adverse health effects of airborne particles compared with PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> // *Environmental health perspectives*. 2011. Vol. 119. №12. P. 1691-1699. <https://doi.org/10.1289/ehp.1003369>
20. Khan M. F., Shirasuna Y., Hirano K., Masunaga S. Characterization of PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>2.5–10</sub> and PM<sub>>10</sub> in ambient air, Yokohama, Japan // *Atmospheric Research*. 2010. Vol. 96. №1. P. 159-172. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2009.12.009>
21. Li X., Zhang H., Jing J., Huang D. Surface modification of a low-density ceramic for gas–solid separation // *Surface and Coatings Technology*. 2015. Vol. 262. P. 103-110. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2014.12.020>
22. Liu J., Man Y., Liu Y. Temporal variability of PM 10 and PM 2.5 inside and outside a residential home during 2014 Chinese Spring Festival in Zhengzhou, China // *Natural Hazards*. 2014. Vol. 73. №3. P. 2149-2154. <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1157-9>
23. Lu F., Xu D., Cheng Y., Dong S., Guo C., Jiang X., Zheng X. Systematic review and meta-analysis of the adverse health effects of ambient PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> pollution in the Chinese population // *Environmental research*. 2015. Vol. 136. P. 196-204. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.06.029>
24. Maji K. J., Dikshit A. K., Deshpande A. Disability-adjusted life years and economic cost assessment of the health effects related to PM 2.5 and PM 10 pollution in Mumbai and Delhi, in India from 1991 to 2015 // *Environmental Science and Pollution Research*. 2017. Vol. 24. №5. P. 4709-4730. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8164-1>
25. Rogula-Kozłowska W., Klejnowski K., Rogula-Kopiec P., Mathews B., Szopa S. A study on the seasonal mass closure of ambient fine and coarse dusts in Zabrze, Poland // *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2012. Vol. 88. №5. P. 722-729. <https://doi.org/10.1007/s00128-012-0533-y>
26. Sicard P., Khaniabadi Y. O., Perez S., Gualtieri M., De Marco A. Effect of O<sub>3</sub>, PM 10 and PM 2.5 on cardiovascular and respiratory diseases in cities of France, Iran and Italy // *Environmental science and pollution research*. 2019. Vol. 26. №31. P. 32645-32665. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06445-8>
27. Sillanpää M., Hillamol R., Kerminen V. M., Pakkanen T., Salonen R. Chemical composition and mass balance of an urban aerosol during various seasons // *Journal of aerosol science*. 2000. Vol. 31. P. S309-S310. [https://doi.org/10.1016/S0021-8502\(00\)90319-7](https://doi.org/10.1016/S0021-8502(00)90319-7)

28. Silanpää M., Hillamo R., Saarikoski S., Frey A., Pennanen A., Makkonen U., Spolnik Z., van Grieken R., Braniš M., Brunekreef B., Chalbot M.-C., Kuhlbusch T., Sunyer J., Kerminen V. M., Kultala M., Salonen R. O. Chemical composition and mass closure of particulate matter at six urban sites in Europe // *Atmospheric Environment*. 2006. Vol. 40. P. 212–223. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.01.063>
29. Zhao X., Zhang X., Xu X., Xu J., Meng W., Pu W. Seasonal and diurnal variations of ambient PM<sub>2.5</sub> concentration in urban and rural environments in Beijing // *Atmospheric Environment*. 2009. Vol. 43, №18. P. 2893–2900. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.03.009>
30. Zhu X., Lei L., Wang X., Zhang Y. Air quality and passenger comfort in an air-conditioned bus micro-environment // *Environ. Monit. Assess.* 2018. Vol. 190, №5. P. 276. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6593-7>

### References

1. Azarov, V.N., & Kalyuzhina, E.A. (2011). Ob organizatsii monitoringa RM10 I RM2,5 na primere g. Volgograda. *Vestn. Volgograd. gos. arkhitekturno-stroitel'nogo un-ta. Ser. Stroitel'stvo I arkhitektura*, (25(44)), 398–401. (in Russ.).
2. Borovlev, A.E. (2020). Issledovaniya sodержaniya melkodispersnykh chastits v atmosfernom vozdukh zhiloi zo-ny Belgoroda. *Regional'nye geosistemy*, 44(97). 97–103. (in Russ.). <https://doi.org/10.18413/2712-7443-2020-44-1-97-103>
3. Vlasov, D.V., Kasimov, N.S., & Kosheleva, N.E. (2015). Geokhimiya dorozhnoi pyli (Vostochnyi okrug Moskvy). *Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 5: Geografiya*, (1). 23–33. (in Russ.).
4. Vsemirnaya organizatsiya zdravookhraneniya, Evropeiskoe regional'noe byuro. Obzor dannykh o vozdei-stvii zagryazneniya vozdukh na zdorov'e – proekt REVIHAAP. <https://clck.ru/VQuJ8>
5. Zavorueva, E.N., Zavoruev, V.V., & Pechenkin, F.A. (2017). Kotsentratsiya vzveshennykh chastits v prizemnom sloe at-mosfery goroda Krasnoyarska v 2013–2016 godakh. *Put' nauki*, (4(38)). 13–15. (in Russ.).
6. Maremukha, T.P., & Petrosyan, A.A. (2016). Zagryaznenie atmosfernogo vozdukh fraktsiyami melkodispersnoi pyli (RM10 I RM2,5) v raione funktsionirovaniya ugol'noi TES. *Zdorov'e I okruzhayushchaya sreda*, 26, 39–42. (in Russ.).
7. Ofitsial'nyi sait administratsii goroda Tobol'ska. [http://www.admtobolsk.ru/tob\\_grad/gen\\_plan/](http://www.admtobolsk.ru/tob_grad/gen_plan/)
8. Pozhitkov, R.Yu. (2020). Soderzhanie vzveshennykh chastits RM2,5 I RM10 v prizemnom sloe atmosfery g. Tyumeni v iyune 2020 g. *Optika atmosfery I okeana*, 33(12(383)). 913–917. (in Russ.). <https://doi.org/10.15372/AOO20201202>
9. Popova, E.I. (2016). Opredelenie fitotoksichnosti pochv goroda Tobol'ska metodom biotestirovaniya. *Sovremennye problemy nauki I obrazovaniya*, (4). 216. (in Russ.).
10. Prosviryakova, I.A., & Shevchuk, L.M. (2017). Otsenka sodержaniya tverdykh chastits RM10 I RM2,5 v atmosfernom voz-dukhe na territorii zhiloi zastroiki v zone vliyaniya vybrosov. *Zdorov'e I okruzhayushchaya sreda*, 27, 51–54. (in Russ.).
11. RD 52.04.830-2015. Massovaya kotsentratsiya vzveshennykh chastits RM10 I RM2,5 v atmosfernom vozdukh. Metodika izmerenii gravimetricheskim metodom (2015). St. Petersburg. (in Russ.).
12. Fakashchuk, N.Yu., & Soromotin, A.V. (2017). Otsenka sostoyaniya snezhnogo pokrova I pochv Tobol'skoi promzony. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya I prirodnopol'zovanie*, 3(2). 22–33. (in Russ.). <https://doi.org/10.21684/2411-7927-2017-3-2-22-33>
13. Federal'nyi zakon ot 4 maya 1999 g. №96-FZ “Ob okhrane atmosfernogo vozdukh” (s ispravleniyami I dopolneniyami) (1999). Moscow. (in Russ.).
14. Shubabko, E.N., Shubabko, O.E., & Dorokhov, A.M. (2020). Vliyanie vzveshennykh chastits (pyli fraktsii RM10 I RM2,5) na zdorov'e I zhizn' lyudei. In *Rossiya I slavyanskije narody v XIX-XXI vv. sbornik statei: Materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii*, Bryansk, 370–379. (in Russ.).
15. Bae, H. J. (2014). Effects of Short-term Exposure to PM 10 and PM 2.5 on Mortality in Seoul. *Journal of Environmental Health Sciences*, 40(5), 346-354. <https://doi.org/10.5668/JEHS.2014.40.5.346>
16. Bell, M. L., Dominici, F., Ebisu, K., Zeger, S. L., & Samet, J. M. (2007). Spatial and temporal variation in PM2.5 chemical composition in the United States for health effects studies. *Environmental health perspectives*, 115(7), 989-995. <https://doi.org/10.1289/ehp.9621>
17. De Miranda, R. M., de Fatima Andrade, M., Fornaro, A., Astolfo, R., de Andre, P. A., & Saldiva, P. (2012). Urban air pollution: a representative survey of PM2.5 mass concentrations in six Brazilian cities. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 5(1), 63-77. <https://doi.org/10.1007/s11869-010-0124-1>
18. Janssen, N. A. H., Fischer, P., Marra, M., Ameling, C., & Cassee, F. R. (2013). Short-term effects of PM2.5, PM10 and PM2.5–10 on daily mortality in the Netherlands. *Science of the Total Environment*, 463, 20-26. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.05.062>
19. Janssen, N. A., Hoek, G., Simic-Lawson, M., Fischer, P., Van Bree, L., Ten Brink, H., ... & Cassee, F. R. (2011). Black carbon as an additional indicator of the adverse health effects of airborne particles compared with PM10 and PM2.5. *Environmental health perspectives*, 119(12), 1691-1699. <https://doi.org/10.1289/ehp.1003369>
20. Khan, M. F., Shirasuna, Y., Hirano, K., & Masunaga, S. (2010). Characterization of PM2.5, PM2.5–10 and PM>10 in ambient air, Yokohama, Japan. *Atmospheric Research*, 96(1), 159-172. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2009.12.009>

21. Li, X., Zhang, H., Jing, J., & Huang, D. (2015). Surface modification of a low-density ceramic for gas–solid separation. *Surface and Coatings Technology*, 262, 103-110. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2014.12.020>
22. Liu, J., Man, Y., & Liu, Y. (2014). Temporal variability of PM 10 and PM 2.5 inside and outside a residential home during 2014 Chinese Spring Festival in Zhengzhou, China. *Natural Hazards*, 73(3), 2149-2154. <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1157-9>
23. Lu, F., Xu, D., Cheng, Y., Dong, S., Guo, C., Jiang, X., & Zheng, X. (2015). Systematic review and meta-analysis of the adverse health effects of ambient PM2.5 and PM10 pollution in the Chinese population. *Environmental research*, 136, 196-204. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.06.029>
24. Maji, K. J., Dikshit, A. K., & Deshpande, A. (2017). Disability-adjusted life years and economic cost assessment of the health effects related to PM 2.5 and PM 10 pollution in Mumbai and Delhi, in India from 1991 to 2015. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(5), 4709-4730. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8164-1>
25. Rogula-Kozłowska, W., Klejnowski, K., Rogula-Kopiec, P., Mathews, B., & Szopa, S. (2012). A study on the seasonal mass closure of ambient fine and coarse dusts in Zabrze, Poland. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 88(5), 722-729. <https://doi.org/10.1007/s00128-012-0533-y>
26. Sicard, P., Khaniabadi, Y. O., Perez, S., Gualtieri, M., & De Marco, A. (2019). Effect of O<sub>3</sub>, PM 10 and PM 2.5 on cardiovascular and respiratory diseases in cities of France, Iran and Italy. *Environmental science and pollution research*, 26(31), 32645-32665. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06445-8>
27. Sillanpää, M., Hillamol, R., Kerminen, V. M., Pakkanen, T., & Salonen, R. (2000). Chemical composition and mass balance of an urban aerosol during various seasons. *Journal of aerosol science*, 31, S309-S310. [https://doi.org/10.1016/S0021-8502\(00\)90319-7](https://doi.org/10.1016/S0021-8502(00)90319-7)
28. Silanpää, M., Hillamo, R., Saarikoski, S., Frey, A., Pennanen, A., Makkonen, U., Spolnik, Z., van Grieken, R., Braniš, M., Brunekreef, B., Chalbot, M-C., Kuhlbusch, T., Sunyer, J., Kerminen, V. M., Kultala, M., Salonen, R. O. (2006). Chemical composition and mass closure of particulate matter at six urban sites in Europe. *Atmospheric Environment*, (40), 212-223. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.01.063>
29. Zhao, X., Zhang, X., Xu, X., Xu, J., Meng, W., Pu, W. (2009). Seasonal and diurnal variations of ambient PM<sub>2.5</sub> concentration in urban and rural environments in Beijing. *Atmospheric Environment*, 43(18), 2893-2900. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.03.009>
30. Zhu, X., Lei, L., Wang, X., Zhang, Y. (2018). Air quality and passenger comfort in an air-conditioned bus microenvironment. *Environ. Monit. Assess*, 190(5), 276. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6593-7>

---

Пожитков Р.Ю. Разовые концентрации взвешенных частиц PM<sub>2.5</sub> и PM<sub>10</sub> в приземных слоях атмосферы г. Тобольск // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2021. № 2(54). С. 119-126. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/16>

Pozhitkov, R.Yu. (2021). Single Concentrations of Particulate Matter PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> in the Lower Layers of the Atmosphere of Tobolsk. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*. (2(54)). 119-126. (in Russ.). <https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/16>

---

дата поступления: 12.01.2021

дата принятия: 08.04.2021