

УДК 614.715: 614.78: [625.739.4+625.734.2]  
DOI: 10.21668/health.risk/2016.4.05

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ ВБЛИЗИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Т.С. Уланова<sup>1,2</sup>, М.В. Антипьева<sup>1,3</sup>, М.В. Волкова<sup>1,2</sup>, М.И. Гилёва<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, Россия, 614045, г. Пермь, ул. Монастырская, 82

<sup>2</sup>Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Россия, 614990, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29

<sup>3</sup>Пермская государственная сельскохозяйственная академия им. академика Д.Н. Прянишникова, Россия, г. Пермь, ул. Петропавловская, 23

*Приведены результаты инструментального определения массовой концентрации взвешенных частиц  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$  и общей пыли (TSP), содержащихся в атмосферном воздухе крупного города вблизи автомобильных дорог. Измерения проводили с использованием лазерного анализатора аэрозолей DustTrak 8533 в течение 2016 г. Отбор проб ( $n = 67$ ) был организован по сокращенной программе на базе маршрутных постов, размещаемых на территориях, примыкающих к асфальтированным магистралям с интенсивным движением транспорта – до 1200 автомобилей в час на исследуемых участках. Разовые концентрации взвешенных частиц достигали уровней 1,5 ПДК<sub>мр</sub>. За исследуемый период превышений установленных величин ПДК<sub>сс</sub> для мелкодисперсных частиц фракций  $PM_{2.5}$  и  $PM_{10}$  вблизи автомобильных дорог не выявлено. Установлены и параметризованы достоверные линейные зависимости между числом дизельного автотранспорта на остановках и концентрациями взвешенных частиц  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ , TSP (коэффициент корреляции от 0,62 до 0,65; критерий Фишера от 14,2 до 38,0;  $p < 0,05$ ), что позволяет прогнозировать уровень загрязнения атмосферы дизельными автотранспортными средствами при их торможении и разгоне. Рекомендовано выполнять непрерывный мониторинг среднесуточных и максимальных разовых концентраций взвешенных мелкодисперсных частиц вблизи автодорог с загруженностью в 769–1270 и более дизельных автотранспортных средств за 20 мин. Полученные данные могут быть использованы для расчета рисков для здоровья населения от воздействия выбросов автотранспортных средств, оценки содержания мелкодисперсных частиц  $PM_{2.5}$  и  $PM_{10}$  вблизи автомагистралей крупного промышленного центра, для планирования мониторинговых исследований на территории крупного промышленного центра.*

**Ключевые слова:** мелкодисперсные частицы,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ , выбросы автотранспорта, атмосферный воздух, лазерная нефелометрия.

Мониторинг концентраций и уменьшение загрязнения воздуха мелкодисперсными взвешенными частицами  $PM_{2.5}$  и  $PM_{10}$  в крупных промышленных городах является актуальной задачей социально-гигиенического мониторинга и управления рисками здоровью населения.

$PM_{2.5}$  – содержащиеся в атмосферном воздухе взвешенные вещества (твердые частицы) с аэродинамическим диаметром частиц менее 2,5 мкм,  $PM_{10}$  – с диаметром менее 10 мкм – представляют угрозу для здоровья человека, так как проникают в легкие, вызывают ряд заболеваний или обостряют уже

имеющиеся [3, 23]. Согласно данным научной литературы, концентрация мелкодисперсных частиц фракции  $PM_{2.5}$  влияет на смертность людей и количество сердечно-сосудистых заболеваний [24].

Стандарты содержания мелкодисперсных частиц в воздухе установлены в официальных документах Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) и Евросоюза [13, 25, 26]. В Российской Федерации содержание мелкодисперсных частиц фракций  $PM_{2.5}$  и  $PM_{10}$  нормируется с 2010 г. Среднесуточная предельно допустимая концентрация (ПДК) составляет

© Уланова Т.С., Антипьева М.В., Волкова М.В., Гилёва М.И., 2016

**Уланова Татьяна Сергеевна** – доктор биологических наук, заведующий отделом химико-аналитических методов исследований, профессор кафедры охраны окружающей среды (e-mail: ulanova@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 233-10-37).

**Антипьева Марина Владимировна** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории методов анализа наноматериалов и мелкодисперсных частиц, доцент кафедры ботаники, генетики, физиологии растений и биотехнологий (e-mail: girmar@mail.ru; тел.: 8 (342) 233-10-37).

**Волкова Марина Валерьевна** – химик лаборатории методов анализа наноматериалов и мелкодисперсных частиц, магистр кафедры охраны окружающей среды (e-mail: volkova@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 233-10-37).

**Гилёва Марина Игоревна** – инженер-исследователь лаборатории методов анализа наноматериалов и мелкодисперсных частиц (e-mail: gileva@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 233-10-37).

0,035 мг/м<sup>3</sup> (PM<sub>2,5</sub>) и 0,06 мг/м<sup>3</sup> (PM<sub>10</sub>); максимальная разовая – 0,16 мг/м<sup>3</sup> и 0,3 мг/м<sup>3</sup>; среднегодовая – 0,025 мг/м<sup>3</sup> и 0,04 мг/м<sup>3</sup> соответственно [7]. Мониторинг загрязнения атмосферного воздуха взвешенными частицами является востребованным, вместе с тем до 2016 г. определения концентраций мелкодисперсной пыли носили научно-исследовательский характер [4–6, 8, 9, 14, 18, 22], за исключением организованного автоматизированного мониторинга в г. Москве, Санкт-Петербурге, Сочи, Казани [16, 17]. С введением в действие в марте 2016 г. РД 52.04.830-2015 «Массовая концентрация взвешенных частиц PM<sub>10</sub> и PM<sub>2,5</sub> в атмосферном воздухе» и РД 52.04.840-2015 «Применение результатов мониторинга качества атмосферного воздуха, полученных с помощью методов непрерывных измерений» установлен эталонный гравиметрический метод измерений массовой концентрации взвешенных частиц диаметром менее 10 мкм и менее 2,5 мкм, позволяющий также определять корректировочный коэффициент для автоматического анализатора.

Особенностью российской системы нормирования является 20-минутное осреднение данных, в том числе полученных с помощью методов непрерывных измерений [20]. Методы прямых измерений с помощью газоанализаторов и пылемеров позволяют организовать фонд данных о состоянии и загрязнении атмосферного воздуха городов [20].

В условиях крупного промышленного центра поступление мелкодисперсных частиц в атмосферу в основном обусловлено антропогенными источниками: выбросами автотранспорта и промышленных предприятий [1]. Например, в Пекине, по оценкам Пекинского центра охраны и мониторинга окружающей среды, частицы PM<sub>2,5</sub> образуются, главным образом, в результате сжигания угля и выброса хлопковых газов [2].

В процессе сгорания топлива и работы дизельных двигателей автотранспортных средств образуется большое число мелкодисперсных частиц [10]. Помимо непосредственных выбросов от работы двигателей, мелкодисперсные частицы образуются также в результате износа дорожного полотна и автомобильных шин. Мелкодисперсные частицы сажи за счет своих малых размеров, обуславливающих медленное естественное выведение из атмосферы, и сорбционных свойств могут увеличивать свою токсичность поглощением вредных веществ из выбросов и переносить на тысячи километров,

представляя угрозу здоровью человека и окружающей среде [10]. В загрязнении атмосферного воздуха крупных городов доля выбросов автотранспорта может достигать 60–90 % [11]. Автомобильные выбросы содержат десятки различных токсичных веществ, среди которых в приоритете наряду с бенз(а)пиреном и сажей мелкодисперсные частицы PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub> [1, 14, 15, 18].

**Целью настоящей работы** являлось исследование содержания мелкодисперсных частиц PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub> в атмосферном воздухе вблизи автомобильных дорог.

**Материалы и методы.** Для определения содержания мелкодисперсных частиц в атмосферном воздухе использовали анализатор пыли DustTrak, модель 8533, имеющий диапазон размеров регистрируемых частиц 0,1–15 мкм. Диапазон измерения массовой концентрации частиц аэрозоля 0,01–150 мг/м<sup>3</sup> [21]. Инструментальные исследования содержания мелкодисперсных частиц и суммы взвешенных частиц (TSP) в атмосферном воздухе выполняли в теплый период (весна – лето) 2016 г. Измерения были организованы по сокращенной программе согласно ГОСТ 17.2.3.01-86 на базе маршрутных постов, размещаемых на территориях, примыкающих к асфальтированным магистралям с интенсивным движением транспорта – до 1200 автомобилей в час на исследуемых участках [12]. Продолжительность измерений и период усреднения при определении разовых концентраций составляли 20 мин, регистрация единичных значений посекундная. Высота размещения прибора составляла 1,5 м. Замеры сопровождались измерением температуры воздуха и скорости ветра.

Измерение уровня загрязнения воздуха, обусловленного выбросами автотранспорта [19], проводили при различных метеоусловиях и интенсивности движения автотранспорта. Согласно нормативным требованиям [19], точки выбраны в районах с интенсивным движением транспорта в местах частого торможения автомобилей – на перекрестках автомагистралей и остановочных пунктах. Подсчет количества проходящих транспортных средств производили за период измерения концентрации аэрозоля (20 мин). Транспортные средства делили на две категории: бензиновые – легковые автомобили, мотоциклы; дизельные – автобусы и грузовые автомобили. Кроме того, выполняли оценку уровня загрязнения атмосферного воздуха мелкодисперсными частицами PM<sub>2,5</sub> и PM<sub>10</sub> на остановках, где

население проводит сравнительно небольшое количество времени, но при этом, как предполагается, получает сравнительно большую дозу мелкодисперсных частиц.

Полученные данные сравнивали с максимальными разовыми величинами ПДК взвешенных частиц  $PM_{2.5}$  и  $PM_{10}$  в атмосферном воздухе населенных мест [7]. Статистическая обработка данных включала расчеты и оценку критерия Фишера, коэффициента корреляции, с учетом уровня значимости  $< 0,05$ .

**Результаты и их обсуждение.** Измерение уровня загрязнения атмосферного воздуха на остановочных пунктах показало, что в условиях непрерывных ежесекундных измерений, в том числе во время торможения, остановки и разгона автобусов, разовые концентрации взвешенных частиц возрастают до величин 1,5 ПДК<sub>мр</sub>. Однако при усреднении данных, полученных за 20-минутный интервал, превышения ПДК<sub>мр</sub> не установлено (табл. 1, 2, рис. 1, 2).

Таблица 1

Результаты измерений максимальной разовой концентрации мелкодисперсных частиц  $PM_{2.5}$  и  $PM_{10}$ , а также общей пыли до 15 мкм (TSP) на остановках

Место измерения: остановка	Транспортная нагрузка, ед. машин/20 мин		Максимальная разовая концентрация $PM_{2.5}$ , $\pm \Delta$ , мг/м <sup>3</sup>	Максимальная разовая концентрация $PM_{10}$ , $\pm \Delta$ , мг/м <sup>3</sup>	Максимальная разовая концентрация TSP, $\pm \Delta$ , мг/м <sup>3</sup>
	дизельный двигатель	бензиновый двигатель			
	Величина ПДК максимальная разовая, мг/м <sup>3</sup>			0,160	0,300
№ 1, n = 4	95	836	0,025 $\pm$ 0,005	0,063 $\pm$ 0,013	0,111 $\pm$ 0,022
№ 2, n = 11	195	822	0,055 $\pm$ 0,011	0,073 $\pm$ 0,015	0,091 $\pm$ 0,018
№ 3, n = 2	80	520	0,014 $\pm$ 0,003	0,041 $\pm$ 0,008	0,079 $\pm$ 0,016
№ 4, n = 2	160	1400	0,027 $\pm$ 0,005	0,038 $\pm$ 0,008	0,039 $\pm$ 0,008
№ 5, n = 2	120	720	0,014 $\pm$ 0,003	0,030 $\pm$ 0,006	0,047 $\pm$ 0,009
№ 6, n = 2	40	480	0,016 $\pm$ 0,003	0,053 $\pm$ 0,011	0,095 $\pm$ 0,019

Таблица 2

Результаты измерений максимальной разовой концентрации мелкодисперсных частиц  $PM_{2.5}$  и  $PM_{10}$ , а также общей пыли до 15 мкм (TSP) на перекрестках

Место измерения: перекресток	Транспортная нагрузка, ед. машин/20 мин		Максимальная разовая концентрация $PM_{2.5}$ , $\pm \Delta$ , мг/м <sup>3</sup>	Максимальная разовая концентрация $PM_{10}$ , $\pm \Delta$ , мг/м <sup>3</sup>	Максимальная разовая концентрация TSP, $\pm \Delta$ , мг/м <sup>3</sup>
	дизельный двигатель	бензиновый двигатель			
	Величина ПДК максимальная разовая, мг/м <sup>3</sup>			0,160	0,300
№ 1, n = 30	120	1039	0,050 $\pm$ 0,010	0,063 $\pm$ 0,013	0,080 $\pm$ 0,016
№ 2, n = 4	450	3185	0,031 $\pm$ 0,006	0,040 $\pm$ 0,008	0,051 $\pm$ 0,010
№ 3, n = 4	277	1250	0,024 $\pm$ 0,005	0,028 $\pm$ 0,006	0,040 $\pm$ 0,008
№ 4, n = 2	160	1000	0,051 $\pm$ 0,010	0,093 $\pm$ 0,019	0,100 $\pm$ 0,020
№ 5, n = 2	100	1080	0,011 $\pm$ 0,002	0,020 $\pm$ 0,004	0,034 $\pm$ 0,007

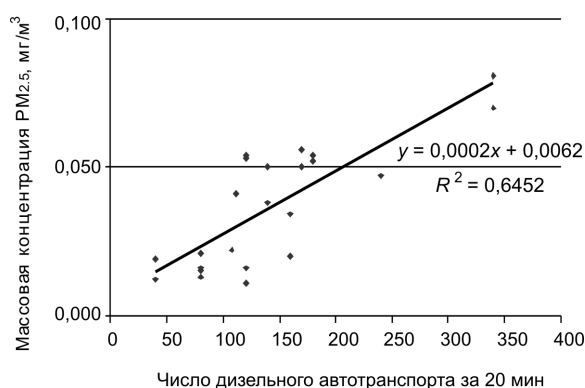


Рис. 1. Зависимость максимальной разовой концентрации частиц  $PM_{2.5}$  на остановочных пунктах от числа автотранспорта с дизельным двигателем, проезжающего по асфальтированной автодороге;  $n = 23$ ,  $F = 38,2$ ,  $p < 0,05$

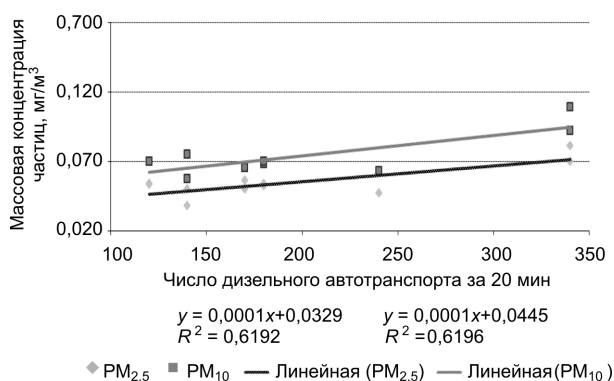


Рис. 2. Зависимость максимальной разовой концентрации взвешенных частиц  $PM_{2.5}$  и  $PM_{10}$  на остановке № 2 от числа автотранспорта с дизельным двигателем, проезжающего по асфальтированной автодороге;  $n = 11$ ,  $F = 14,6$ ,  $p < 0,05$

Уравнение линейной зависимости  $y = 0,0002x + 0,0062$  характеризуется коэффициентом корреляции 0,6452; критерий Фишера  $F$  составил 38,2,  $p < 0,05$ , что подтверждает гипотезу о весомой доле вклада выбросов дизельных автотранспортных средств в загрязнение атмосферного воздуха мелкодисперсными частицами.

В ходе исследований для остановочного пункта № 2, далекого от светофора, в условиях кольцевого движения автотранспорта получены зависимости массовой концентрации взвешенных частиц ( $y$ )  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$ , а также TSP от числа автотранспортных средств с дизельными двигателями ( $x$ ) (см. рис. 2).

Достоверность аппроксимации и адекватность линейной зависимости подтверждена рассчитанными значениями коэффициента корреляции и коэффициента Фишера: для  $PM_{2,5}$   $y = 0,0001x + 0,0329$  ( $R^2 = 0,6192$ ,  $F = 14,6$ ,  $p < 0,05$ ), для  $PM_{10}$   $y = 0,0001x + 0,0445$  ( $R^2 = 0,6196$ ,  $F = 14,7$ ,  $p < 0,05$ ),  $y = 0,0002x + 0,051$  для TSP ( $R^2 = 0,6203$ ,  $F = 14,7$ ,  $p < 0,05$ ). Увеличение концентраций частиц в атмосферном воздухе линейно связано с возрастанием доли частиц в выхлопных газах в условиях торможения и разгона, а фоновый уровень концентраций мелкодисперсных частиц, скорее всего, сформирован выхлопными газами автотранспортных средств, проезжающих с постоянной скоростью, и вторичным вовлечением пыли с поверхности. В условиях других остановочных пунктов рядом находились перекрестки со светофорами, соответственно, присоединялись факторы торможения, остановки и разгона всех транспортных средств, а также выхлопы на холостом ходу при стоянии в утренних и вечерних пробках (рис. 3).

Согласно полученным уравнениям, прогнозируя ситуацию, можно предположить, что достижение и дальнейшее превышение ПДК<sub>мр</sub> ( $PM_{2,5}$ ) может произойти на остановке у автодороги, загруженной дизельными автотранспортными средствами, число которых за 20 мин превышает 770 единиц вблизи светофора или 1271 вдали от светофора. В связи с этим непрерывный мониторинг максимальных разовых концентраций взвешенных мелкодисперсных частиц целесообразно вести вблизи автодорог с загруженностью, близкой к указанной.

Результаты замеров максимальных разовых концентраций на перекрестках автомагистралей представлены в табл. 2. Измеренные значения концентраций мелкодисперсных частиц  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$  не превышали ПДК<sub>мр</sub>. Кроме того, при определении максимальной разовой концентрации мелкодисперсных частиц на перекрестках достоверной зависимости от числа автотранспорта не установлено.

**Выводы.** При исследовании мелкодисперсных частиц на автомагистралях г. Перми с интенсивностью движения до 2,5 тыс. машин в час массовые концентрации взвешенных частиц, усредненные за 20-минутный период, на остановках и перекрестках не превышали установленных гигиенических нормативов.

Установлены и параметризованы линейные зависимости между числом дизельного автотранспорта на остановках и концентрациями взвешенных частиц  $PM_{2,5}$ ,  $PM_{10}$ , TSP, что позволяет прогнозировать уровень загрязнения атмосферы дизельными автотранспортными средствами при их торможении и разгоне.

Рекомендуется выполнять непрерывный мониторинг среднесуточных концентраций взве-

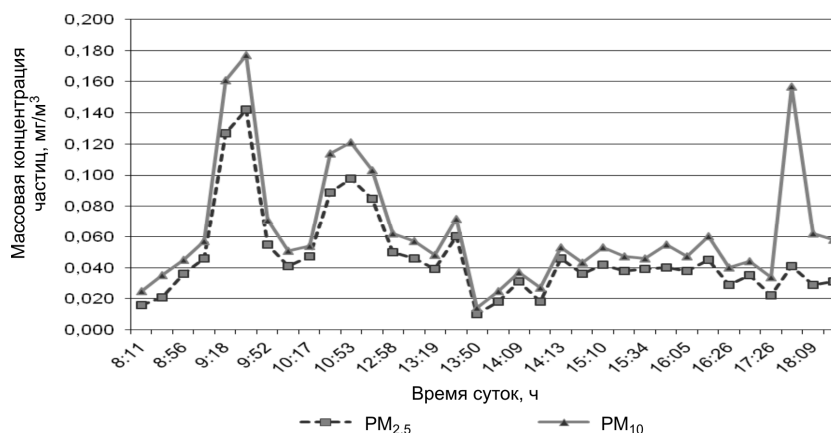


Рис. 3. Зависимость максимальной разовой концентрации взвешенных частиц  $PM_{2,5}$ ,  $PM_{10}$  от времени суток

шенных мелкодисперсных частиц вблизи крупных автомагистралей, а также максимальных разовых концентраций взвешенных мелкодисперсных частиц вблизи автодорог с загруженностью в 769–1270 дизельных автотранспортных средств за 20 мин и более.

Выполненные исследования могут быть использованы для расчета рисков для здоровья населения от воздействия выбросов автотранспортных средств и объективной оценки содержания мелкодисперсных частиц  $PM_{2.5}$  и  $PM_{10}$  вблизи автомагистралей крупного промышленного центра.

### Список литературы

1. Аликина Е.Н., Теплоухова Н.В., Уланов А.В. Определение фракционного состава и количественного содержания мелкодисперсных частиц в выхлопах дизельных автомобилей // *Фундаментальные и прикладные аспекты анализа риска здоровью населения: материалы Всеросс. научно-практ. конф. молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора с международным участием*. – 2012. – Т. 1. – С. 22–25.
2. В 2015 году средняя концентрация взвешенных частиц  $PM_{2.5}$  в воздухе в Пекине снизилась на 6,2 проц. [Электронный ресурс] // *Russian news.CN*. – URL: [http://russian.news.cn/2016-01/05/c\\_134978768.htm](http://russian.news.cn/2016-01/05/c_134978768.htm) (дата обращения: 18.11.2016).
3. Воздействие дисперсного вещества на здоровье человека [Электронный ресурс] // *Записка Всемирной организации здравоохранения / Совместной целевой группы по аспектам воздействия загрязнения воздуха на здоровье человека*. – Женева, 2012. – 13 с. – URL: [http://www.unece.org/8080/fileadmin/DAM/env/documents/2012/EB/ECE\\_EB\\_AIR\\_2012\\_18\\_R.pdf](http://www.unece.org/8080/fileadmin/DAM/env/documents/2012/EB/ECE_EB_AIR_2012_18_R.pdf) (дата обращения: 22.10.2016).
4. Волкова М.В., Уланова Т.С. Мелкодисперсные частицы  $PM_{2.5}$  и  $PM_{10}$  в выбросах автотранспорта // *Модернизация и научные исследования в транспортной комплексе: материалы международной научно-практической конференции*. – Пермь, 2016. – С. 157–159.
5. Волкова М.В., Уланова Т.С. Мелкодисперсные частицы  $PM_{2.5}$  и  $PM_{10}$  в воздухе на урбанизированных территориях // *Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика: материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (с международным участием)*. – Пермь, 2015. – С. 71–74.
6. Гилева О.В., Волкова М.В. Инструментальные исследования мелкодисперсных частиц в атмосферном воздухе // *Фундаментальные и прикладные аспекты анализа риска здоровью населения: материалы Всероссийской научно-практической интернет-конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора*. – Пермь, 2015. – С. 213–216.
7. ГН 2.1.6.2604-10. Дополнение № 8 к ГН 2.1.6.1338–03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест [Электронный ресурс] / Утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 19.04.2010 г. № 26. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/902216601> (дата обращения: 18.10.2016).
8. Годовые колебания частиц  $PM_{10}$  в воздухе Владивостока / В.А. Дрозд, П.Ф. Кику, В.Ю. Ананьев [и др.] // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. – 2015. – Т. 17, № 5 (2). – С. 646–651.
9. Голохваст К.С. Нано- и микроразмерные частицы атмосферных взвесей и их экологический эффект (на примере городов юга Дальнего Востока): дис. ... д-ра биол. наук. – Владивосток, 2014. – 310 с.
10. Голохваст К.С., Кику П.Ф., Христофорова Н.К. Атмосферные взвеси и экология человека // *Экология человека*. – 2012. – № 10. – С. 5–10.
11. Голохваст К.С., Чернышев В.В., Угай С.М. Выбросы автотранспорта и экология человека (обзор литературы) // *Экология человека*. – 2016. – № 1. – С. 9–14.
12. ГОСТ 17.2.3.01-86. Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.ekan.ru/sites/docs/GOST-17-2-3-01-86.pdf> (дата обращения: 18.11.2016).
13. Директива № 2008/50/ЕС Европейского парламента и Совета о качестве атмосферного воздуха и мерах его очистки. Европейский союз [Электронный ресурс]. – Страсбург, 21 мая 2008. – URL: <https://www.lawmix.ru/abrolaw/3063> (дата обращения: 18.10.2016).
14. Загрязнение атмосферного воздуха города Белгорода частицами пыли малых размеров [Электронный ресурс] / А.Э.Боровлев, С.А. Кунгурцев, Л.В. Мигаль, В.И. Соловьев // *Ученые записки: электронный научный журнал Курского государственного университета*. – 2013. – № 1 (25). – С. 269–272. – URL: <http://scientific-notes.ru/pdf/029-039.pdf> (дата обращения: 18.10.2016).
15. Лежнин В.Л., Коньшина Л.Г., Сергеева М.В. Оценка риска для здоровья детского населения, обусловленного загрязнением атмосферного воздуха выбросами автотранспорта, на примере г. Салехарда // *Гигиена и санитария*. – 2014. – № 1. – С. 83–86.
16. Об утверждении методических рекомендаций по обеспечению качества измерений концентраций взвешенных частиц ( $PM_{2.5}$  и  $PM_{10}$ ) в атмосферном воздухе Санкт-Петербурга: распоряжение Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Санкт-Петербурга от 20.05.2010 № 75-Р [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/891832021> (дата обращения: 15.11.2016).

17. Официальный сайт государственного природоохранного бюджетного учреждения «Мосэкомониторинг» [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.mosecom.ru> (дата обращения: 15.10.2016).
18. Пшенин В.Н. Загрязнение воздуха мелкодисперсными частицами около автомобильных дорог // Модернизация и научные исследования в дорожной отрасли: сборник научных трудов. – М., 2013. – С. 96–104.
19. РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы [Электронный ресурс] / утв. Госкомгидрометом СССР 01.06.1989, главным государственным санитарным врачом СССР 16.05.1989. – М., 1991. – 641 с. – URL: [http://ohranatruda.ru/ot\\_biblio/normativ/data\\_normativ/44/44486/index.php](http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/44/44486/index.php) (дата обращения: 20.10.2016).
20. РД 52.04.840-2015. Применение результатов мониторинга качества атмосферного воздуха, полученных с помощью методов непрерывных измерений [Электронный ресурс] / утв. Росгидрометом 29.12.2015. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200133380> (дата обращения: 15.11.2016).
21. Руководство по эксплуатации пылемера DustTrak DRX модели 8533/8534. – СПб., 2009.
22. Уланова Т.С., Гилёва О.В., Волкова М.В. Определение частиц микро- и нанодиапазона в воздухе рабочей зоны на предприятиях горнодобывающей промышленности // Анализ риска здоровью. – 2015. – № 4. – С. 44–49.
23. Cheng M., Chui H., Yang C. The effect of coarse particles on daily mortality: a case–crossover study in a subtropical city, Taipei, Taiwan // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2016. – № 13. – С. 347. DOI: 10.3390/ijerph13030347.
24. Differentiating the effects of fine and coarse particles on daily mortality in Shanghai, China / H. Kan, S.J. London, G. Chen [et al.] // Environment International. – 2007. – № 33. – P. 376–384.
25. Environmental Protection Agency. National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter; Final rule [Электронный ресурс] // Federal Register. – 2006. – Vol. 71. – 94 p. – URL: <https://www3.epa.gov/ttnamti1/files/ambient/pm25/pt535806.pdf> (дата обращения: 18.10.2016).
26. WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen, dioxide and sulfur dioxide. Global update 2005. Summary of risk assessment. (WHO/SDE/PHE/OEH/06.02) [Электронный ресурс] // World Health Organization. – 2006. – 22 p. – URL: [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69477/1/WHO\\_SDE\\_PHE\\_OEH\\_06.02\\_eng.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69477/1/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf) (дата обращения: 22.10.2016).

*Исследование содержания мелкодисперсных частиц в атмосферном воздухе вблизи автомобильных дорог / Т.С. Уланова, М.В. Антипина, М.В. Волкова, М.И. Гилёва // Анализ риска здоровью. – 2016. – №4. – С. 38–45. DOI: 10.21668/health.risk/2016.4.05*

UDC 614.715: 614.78: [625.739.4+625.734.2]  
DOI: 10.21668/health.risk/2016.4.05.eng

## INVESTIGATIONS OF FINE PARTICLES CONCENTRATIONS IN THE ATMOSPHERIC AIR NEAR HIGHWAYS

**T.S. Ulanova<sup>1,2</sup>, M.V. Antipina<sup>1,3</sup>, M.V. Volkova<sup>1,2</sup>, M.I. Gileva<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies,  
82 Monastyrskaya Str., Perm, 614045, Russian Federation

<sup>2</sup>Perm National Research Polytechnic University, 29 Komsomolskiy Ave., Perm, 614990, Russian Federation

<sup>3</sup>Perm State Agricultural Academy named after D.N. Pryanishnikova, 23 Petropavlovskaya Str.,  
Perm, 614045, Russian Federation

---

*This paper presents the results of the experimental determination of particulate matter  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$  mass concentration and total suspended particles up to 15 microns (TSP), which are the priority components of air pollutants near the highways. The measurements were made during the year 2016 using a laser analyzer of aerosol DustTrak 8533. The study shows the dependence of the particulate matter concentration from the time of day and the traffic congestion. The sampling ( $N = 67$ ) was performed due to brief program on the basis of the route monitoring station, which is located on the road junction with heavy traffic – up to 1,200 vehicles per hour on the test sites. The single concentrations of the suspended substances reached the levels of the Maximum permissible concentration (MPC) of 1.5. During the study period, the exceeding of the established average daily MPC for fine particles  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$  fractions near the highways have not been identified.*

*The significant linear relationship between the number of diesel vehicles on stops and the concentrations of particulate matter  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ , TSP (correlation coefficient from 0.62 to 0.65; Fisher's criterion of 14.2 to 38.0;  $p < 0.05$ ) has been established and parameterized, what allows to predict the level of air pollution by diesel vehicles when braking and accelerating.*

*It is recommended to fulfill continuous monitoring of the average daily and single MPC of the fine suspended particles near the roads with traffic load of 769 – 1270 or more the diesel vehicles per every 20 minutes. The obtained data may be used in evaluation of the risk to public health induced by the transport emissions as well as in the estimation of the fine particles  $PM_{2,5}$ ,  $PM_{10}$  concentrations on the sites close to the highways of the large industrial center.*

**Key words:** fine particles,  $PM_{2,5}$ ,  $PM_{10}$ , transport emissions, atmospheric air, laser nephelometry, correlation coefficient, Fisher's criterion.

## References

1. Alikina E.N., Teplouhova N.V., Ulanov A.V. Opredelenie frakcionnogo sostava i kolichestvennogo sodержaniya melkodispersnyh chastic v vyhlopah dizel'nyh avtomobilej [Determination of the fractional composition and quantitative content of fine particles in the exhaust of diesel vehicles]. Fundamental'nye i prikladnye aspekty analiza riska zdorov'ju naselenija: materialy Vseross. nauchno-prakt. konf. molodyh uchenyh i specialistov Rospotrebnadzora s mezhdunarodnym uchastiem [Materials of the all-Russian scientific and practical conference of young scientists and Rospotrebnadzor specialists "Fundamental and applied aspects of population health risk"]. 2012, May 16–18, vol. 1, pp. 22–25 (in Russian).
2. V 2015 godu srednjaja koncentracija vzveshennyh chastic  $PM_{2,5}$  v vozduhe v Pekine snizilas' na 6,2 proc. [In 2015, the average concentration of suspended particles  $PM_{2,5}$  in the air in Beijing declined by 6.2 percent.]. Russian news.CN. Available at: [http://russian.news.cn/2016-01/05/c\\_134978768.htm](http://russian.news.cn/2016-01/05/c_134978768.htm) (18.11.2016) (in Russian).
3. Vozdejstvie dispersnogo veshhestva na zdorov'e cheloveka [Effects of particulate matter on human health]. Effects of particulate matter on human health. Note by the World Health Organization, Geneva, 2012, 13 p. Available at: [http://www.unece.org:8080/fileadmin/DAM/env/documents/2012/EB/ECE\\_EB\\_AIR\\_2012\\_18\\_R.pdf](http://www.unece.org:8080/fileadmin/DAM/env/documents/2012/EB/ECE_EB_AIR_2012_18_R.pdf) (22.10.2016) (in Russian).
4. Volkova M.V., Ulanova T.S. Melkodispersnye chastyцы  $PM_{2,5}$  i  $PM_{10}$  v vybrosah avtotransporta [The fine particles  $PM_{2,5}$  and  $PM_{10}$  in road transport emissions]. Modernizacija i nauchnye issledovanija v transportnoj komplekse: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii [Upgrade and scientific researches in transport sector: materials of the international scientific-practical conference]. Perm', April 14–15, 2016, pp. 157–159 (in Russian).
5. Volkova M.V., Ulanova T.S. Melkodispersnye chastyцы  $PM_{2,5}$  i  $PM_{10}$  v vozduhe na urbanizirovannyh territorijah [The fine particles  $PM_{2,5}$  and  $PM_{10}$  in air of the urbanized areas]. Jekologija i nauchno-tehnicheskij progress. Urbanistika: materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh (s mezhdunarodnym uchastiem) [Environment and scientific and technical progress. Urban: Materials of All-Russian scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists (with international participation) ]. Perm', November 20, 2015, pp. 71–74 (in Russian).
6. Gileva O.V., Volkova M.V. Instrumental'nye issledovanija melkodispersnyh chastic v atmosfernom vozduhe [Instrumental investigations of the fine particles in the air]. Fundamental'nye i prikladnye aspekty analiza riska zdorov'ju naselenija: materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj internet-konferencii molodyh uchenyh i specialistov Rospotrebnadzora [Materials of the all-Russian scientific and practical conference of young scientists and Rospotrebnadzor specialists "Fundamental and applied aspects of population health risk"]. Perm', October 5–9, 2015, pp. 213–216 (in Russian).
7. GN 2.1.6.2604-10. Dopolnenie № 8 k GN 2.1.6.1338–03. Predel'no dopustimye koncentracii (PDK) zagrnjaznjajushchih veshhestv v atmosfernom vozduhe naselennyh mest [GN 2.1.6.2604-10. Addition № 8 to the GN 2.1.6.1338–03. Maximum permissible concentration (MPC) of the pollutants in the ambient air of populated areas]. Utv. postanovleniem Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha RF ot 19.04.2010 g. № 26 [Approved by the Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation from 19.04.2010, No.]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902216601> (18.10.2016) (in Russian).
8. Drozd V.A., Kiku P.F., Anan'ev V.Ju. [et al]. Godovye kolebanija chastic  $PM_{10}$  v vozduhe Vladivostoka [Annual fluctuations of  $PM_{10}$  particles content in the air of Vladivostok]. *Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*, 2015, vol. 17, no. 5 (2), pp. 646–651 (in Russian).
9. Golohvast K.S. Nano- i mikrorazmernye chastyцы atmosferynyh vzvesej i ih jekologicheskij jeffekt (na primere gorodov juga dal'nego vostoka): diss. ... d-ra biol. Nauk [Nano- and micro-sized particles of atmospheric mists and their environmental impact (for example, cities in the south of the Far East): Diss. ... Dr. biol. sciences]. Vladivostok, 2014, 310 p. (in Russian).

© Ulanova T.S., Antipieva M.V., Volkova M.V., Gileva M.I., 2016

**Tatyana S. Ulanova** – PhD, DSc, Head of Department of Analytical Chemistry Analysis, Professor of the Department of Environmental Protection (e-mail: [ulanova@fcrisk.ru](mailto:ulanova@fcrisk.ru); tel.: +7 (342) 233-10-37).

**Marina V. Antipieva** – PhD, Senior Researcher, Laboratory of methods of analysis of nanomaterials and fine particles, an assistant professor of botany, genetics, plant physiology and biotechnology (e-mail: [girmar@mail.ru](mailto:girmar@mail.ru); tel.: +7 (342) 233-10-37).

**Marina V. Volkova** – Chemist of the laboratory for analysis methods of nanomaterials and fine particles, Master of the Department of Environmental Protection (e-mail: [volkova@fcrisk.ru](mailto:volkova@fcrisk.ru); tel.: +7 (342) 233-10-37).

**Marina I. Gileva** – Research Engineer of the laboratory for analysis methods of nanomaterials and fine particles (e-mail: [gileva@fcrisk.ru](mailto:gileva@fcrisk.ru); tel.: +7 (342) 233-10-37).

10. Golohvast K.S., Kiku P.F., Hristoforova N.K. Atmosferynye vzvesi i jekologija cheloveka [Atmospheric suspensions and human ecology]. *Jekologija cheloveka*, 2012, no. 10, pp. 5–10 (in Russian).
11. Golohvast K.S., Chernyshev V.V., Ugaj S.M. Vybrosty avtotransporta i jekologija cheloveka (obzor literatury) [Car Exhausts And Human Ecology (Literature review)]. *Jekologija cheloveka*, 2016, no. 1, pp. 9–14 (in Russian).
12. GOST 17.2.3.01-86. Ohrana prirody. Atmosfera. Pravila kontrolja kachestva vozduha naselennyh punktov [GOST 17.2.3.01-86. Protection of Nature. Atmosphere. Air quality control instructions in human settlements]. Available at: <http://www.ekan.ru/sites/docs/GOST-17-2-3-01-86.pdf> (18.11.2016) (in Russian).
13. Direktiva N 2008/50/ES Evropejskogo Parlamenta i Soveta o kachestve atmosfernogo vozduha i merah ego ochistki. Evropejskij sojuz. Strasburg, 21 may 2008. [Directive No. 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council on Ambient air quality and cleaner air for Europe. Strasbourg, 2008] (in Russian).
14. Borovlev A.Je., Kungurcev S.A., Migal' L.V., Solov'ev V.I. Zagrzaznenie atmosfernogo vozduha goroda Belgoroda chasticami pyli malyh razmerov [Air pollution by dust particles of small size of the city of Belgorod]. *Uchenye zapiski: jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kurskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2013, no. 1 (25), pp. 269–272. Available at: <http://scientific-notes.ru/pdf/029-039.pdf> (18.10.2016) (in Russian).
15. Lezhnin V.L., Kon'shina L.G., Sergeeva M.V. Ocenka riska dlja zdorov'ja detskogo naselenija, obuslovlennogo zagrzazneniem atmosfernogo vozduha vybrosami avtotransporta, na primere g. Saleharda [Assessment of children's health risk posed by traffic-related air pollution as exemplified by the city of Salekhard]. *Gigiena i sanitarija*, 2014, no. 1, pp. 83–86 (in Russian).
16. Ob utverzhdenii Metodicheskikh rekomendacij po obespecheniju kachestva izmerenij koncentracij vzveshennyh chastic (RM2,5 i RM10) v atmosfernom vozduhe Sankt-Peterburga: rasporyzhenie Komiteta po prirodopol'zovaniju, ohrane okruzhajushhej sredy i obespecheniju jekologicheskoj bezopasnosti Sankt-Peterburga ot 20.05.2010 N 75-R [On Approval of the recommendations on quality assurance of measurements of concentrations of suspended particles (PM2.5 and RM10) in the atmosphere of St. Petersburg: the disposal of the Committee for Nature Use, Environmental Protection and Ecological Safety of St. Petersburg dated 20.05.2010 N 75-P]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/891832021> (15.11.2016) (in Russian).
17. Oficial'nyj sajt gosudarstvennogo prirodoohrannogo bjudzhetnogo uchrezhdenija «Mosjekomonitoring» [The official website of the state environmental budget entity "Mosekomonitoring"]. Available at: <http://www.mosecom.ru> (15.10.2016) (in Russian).
18. Pshenin V.N. Zagrzaznenie vozduha melkodispersnymi chasticami okolo avtomobil'nyh dorog [Air pollution by fine particles near highways]. *Modernizacija i nauchnye issledovanija v dorozhnoj otrasli: sbornik nauchnyh trudov*, 2013, pp. 96–104 (in Russian).
19. RD 52.04.186-89. Rukovodstvo po kontrolju zagrzaznenija atmosfery [RD 52.04.186-89. Guide for the air pollution control]. utv. Goskomgidrometom SSSR 01.06.1989, Glavnym gosudarstvennym sanitarnym vrachom SSSR 16.05.1989. [approved by the USSR State Committee 01.06.1989, the Chief State Sanitary Doctor of the USSR 16.05.1989]. Moscow, 1991, 641 p. Available at: [http://ohranatruda.ru/ot\\_biblio/normativ/data\\_normativ/44/44486/index.php](http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/44/44486/index.php) (20.10.2016) (in Russian).
20. RD 52.04.840-2015. Primenenie rezul'tatov monitoringa kachestva atmosfernogo vozduha, poluchennyh s pomoshh'ju metodov nepreryvnyh izmerenij [RD 52.04.840-2015. Application of the results of air quality monitoring, obtained by continuous measurement methods]. Utv. Rosgidrometom 29.12.2015. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200133380> (15.11.2016) (in Russian).
21. Rukovodstvo po jekspluatacii pylemera DustTrak DRX modeli 8533/8534 [Operating Instructions for dust meter DustTrak DRX model 8533/8534]. Saint Petersburg, 2009 (in Russian).
22. Ulanova T.S., Gileva O.V., Volkova M.V. Opredelenie chastic mikro- i nanodiapazona v vozduhe rabochey zony na predpriyatiyah gornodobyvayushhey promyshlennosti [Determination of micro and nanoparticles in the workplace area at the enterprises of mining industry]. *Analiz riska zdorov'ju*, 2015, 4, pp. 44–49 (in Russian).
23. Cheng M., Chui H., Yang C. The effect of coarse particles on daily mortality: a case –crossover study in a subtropical city, Taipei, Taiwan. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2016, no. 13, 347 p. DOI: 10.3390/ijerph13030347.
24. Environmental Protection Agency. National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter; Final rule. *Federal Register*, 2006, vol. 71, 94 p. Available at: <https://www3.epa.gov/ttnamti1/files/ambient/pm25/pt535806.pdf> (18.10.2016).
25. WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen, dioxide and sulfur dioxide – Global update 2005. Summary of risk assessment. (WHO/SDE/PHE/OEH/06.02). *World Health Organization*, 2006, 22 p. Available at: [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69477/1/WHO\\_SDE\\_PHE\\_OEH\\_06.02\\_eng.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69477/1/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf) (22.10.2016).
26. Kan H., London S. J., Chen G. et al. Differentiating the effects of fine and coarse particles on daily mortality in Shanghai, China. *Environment International*, 2007, no. 33, pp. 376–384.

*Ulanova T.S., Antipieva M.V., Volkova M.V., Gileva M.I. Investigations of fine particles concentrations in the atmospheric air near highways. Health Risk Analysis, 2016, no. 4, pp. 38–45. DOI: 10.21668/health.risk/2016.4.05.eng*