

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ ПО КОНЦЕНТРАЦИЯМ ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ С УЧЁТОМ ИХ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА (НА ПРИМЕРЕ ОРЕНБУРГА)

Л. Н. Третьяк¹, А. С. Вольнов²

Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

¹e-mail: tretyak_ln@mail.ru

²e-mail: Volnov_AS@mail.ru

Аннотация. Актуальность оценки экологической безопасности автотранспортных потоков в г. Оренбурге обусловлена необходимостью учёта концентраций дисперсных частиц, образующихся в отработавших газах двигателей автомобилей, а также в процессе эксплуатационного изнашивания шин, тормозных механизмов и дорожного покрытия.

Цель исследования – провести оценку экологической безопасности автотранспортных потоков по концентрациям дисперсных частиц с учётом их гранулометрического состава (на примере Оренбурга).

Показаны основные источники выбросов дисперсных частиц, приведена их количественная и качественная характеристика. На основе комплексного подхода разработан алгоритм оценки экологической безопасности автотранспортных потоков по концентрациям дисперсных частиц с учётом их гранулометрического состава. С использованием стандартизованных и аттестованных методик и оборудования определены концентрации дисперсных частиц с учётом их гранулометрического состава (на примере Оренбурга). Составлены экологическая карта и рейтинг наиболее загрязнённых участков улично-дорожной сети г. Оренбурга дисперсными частицами размером 2,5 и 10 мкм. Получены зависимости концентраций дисперсных частиц с учётом их гранулометрического состава от времени суток, скорости ветра и интенсивности автотранспортного потока на перекрёстках г. Оренбурга. Установлено, что концентрации дисперсных частиц размером 2,5 и 10 мкм на перекрёстках г. Оренбурга не превышают предельно-допустимых значений, однако их суммарная концентрация превышена от 4 до 6 раз. Причем, концентрации дисперсных частиц на перекрестках в 2,5–4 раза выше, чем на перегоне. Показано, что идентификация гранулометрического состава дисперсных частиц, образующихся от автотранспортного потока, позволит уточнить причинно-следственные связи между степенью загрязнения приземного слоя атмосферы и здоровьем населения, проживающего в непосредственной близости от автомобильных дорог. Практическая значимость полученных результатов состоит в возможности прогнозирования концентраций дисперсных частиц и информирования участников дорожного движения о степени загрязнения приземного слоя атмосферы. Результаты проведенного исследования могут быть использованы при экологическом мониторинге автотранспортных потоков с учётом изменения структуры парка автотранспортных средств по экологическим классам, грузоподъемности, расходу топлива, а также при планировании и реализации организационно-технических мероприятий по снижению негативного влияния автотранспортных потоков на приземный слой атмосферы.

Ключевые слова: экологическая безопасность, автотранспортные потоки, выбросы, дисперсные частицы, оценка, гранулометрический состав, приземной слой атмосферы, экологическая карта, улично-дорожная сеть.

Для цитирования: Третьяк Л. Н., Вольнов А. С. Оценка экологической безопасности автотранспортных потоков по концентрациям дисперсных частиц с учётом их гранулометрического состава (на примере Оренбурга) // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2020. – № 2. – С. 134–147. DOI: 10.25198/2077-7175-2020-2-134.

ENVIRONMENTAL SAFETY ASSESSMENT OF MOTOR TRANSPORT FLOWS BY CONCENTRATIONS OF DISPERSED PARTICLES WITH ACCOUNT OF THEIR GRANULOMETRIC COMPOSITION (ON THE EXAMPLE OF ORENBURG)

L. N. Tretyak¹, A. S. Volnov²

Orenburg State University, Orenburg, Russia

¹e-mail: tretyak_ln@mail.ru

²e-mail: Volnov_AS@mail.ru

Abstract. The relevance of assessing the environmental safety of motor flows in the city of Orenburg is due to the need to take into account the concentrations of dispersed particles generated in the exhaust gases of automobile engines, as well as in the process of operational wear of tires, braking mechanisms and road surfaces.

The purpose of the study was to assess the environmental safety of motor flows by the concentration of dispersed particles, taking into account their particle size distribution (using the example of Orenburg).

The main sources of emissions of dispersed particles are shown, their quantitative and qualitative characteristics are given. Based on an integrated approach, an algorithm has been developed for assessing the environmental safety of motor flows by the concentration of dispersed particles, taking into account their particle size distribution. Using standardized and certified methods and equipment, the concentrations of dispersed particles were determined taking into account their particle size distribution (using the example of Orenburg). An ecological map and a rating of the most polluted sections of the Orenburg city road network have been compiled with dispersed particles of 2,5 and 10 microns in size. The dependences of the concentrations of dispersed particles taking into account their particle size distribution on the time of day, wind speed and traffic intensity at the intersections of Orenburg are obtained. It was established that the concentrations of dispersed particles of sizes 2,5 and 10 μm at the intersections of Orenburg do not exceed the maximum permissible values, but their total concentration is exceeded from 4 to 6 times. Moreover, the concentration of dispersed particles at intersections is 2,5–4 times higher than on the haul. It is shown that the identification of the particle size distribution of dispersed particles formed from the motor stream will allow us to clarify the cause-effect relationships between the degree of pollution of the surface layer of the atmosphere and the health of the population living in close proximity to roads. The practical significance of the obtained results consists in the possibility of predicting the concentrations of dispersed particles and informing road users about the degree of pollution of the surface layer of the atmosphere. The results of the study can be used in environmental monitoring of traffic flows, taking into account changes in the structure of the fleet of vehicles by environmental classes, capacity, fuel consumption, as well as in the planning and implementation of organizational and technical measures to reduce the negative impact of traffic flows on the surface layer of the atmosphere.

Keywords: environmental safety, traffic flows, emissions, dispersed particles, estimation, particle size distribution, surface layer of the atmosphere, environmental map, road network.

Cite as: Tretyak, L. N., Volnov, A. S. (2020) [Environmental safety assessment of motor transport flows by concentrations of dispersed particles with account of their granulometric composition (on the example of Orenburg)]. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 2, pp. 134–147. DOI: 10.25198/2077-7175-2020-2-134.

Введение

В условиях непрерывно возрастающей численности автомобильного парка РФ обеспечение экологической безопасности автотранспортных потоков и снижение их негативного воздействия на окружающую среду – одна из приоритетных задач экологической политики страны. При этом удельный вес автотранспортных средств (АТС) в загрязнении приземного слоя атмосферы крупных городов составляет 40–70 %, а вклад отдельных компонентов вредных веществ (ВВ) достигает 70–80 % [5]. Например, загрязнение воздушного бассейна в Набережных Челнах на участках улично-дорожной сети (с различными уровнями загрязнения) формируется в основном за счет автотранспортных потоков (более 70 %) [17]. Выброс ВВ от АТС происходит преимущественно в населенной зоне и представляет серьезную опасность для здоровья людей. Согласно результатам исследования аналитического агентства «АВТОСТАТ»¹ по состоянию на 1 января 2019 года в РФ из 43,5 млн легковых автомобилей 29,2 % не удовлетворяют нормам токсичности 2 экологического класса. Нор-

мам 5 экологического класса и выше соответствуют только 16,4 % парка. Второму экологическому классу в сегменте легких коммерческих автомобилей из 4,1 млн машин не удовлетворяют 42,9 %, а из зарегистрированных 3,8 млн грузовых автомобилей – 62,9 %.

Введение законодательных норм, применение альтернативных видов топлива оказывает существенное влияние на дальнейшее развитие и совершенствование конструкций АТС и их двигателей, что улучшает экологические параметры, также требует повышения культуры их технической эксплуатации. Так, согласно постановлению Правительства РФ № 832 от 12 июля 2017 г. с 1 июля 2018 г. в городах России начали применять понятие «Зона с ограничением экологического класса механических транспортных средств». Согласно новой редакции правил дорожного движения введены знаки (5.35, 5.36 и др.) которые обозначают зоны, куда запрещено въезжать АТС с низким экологическим классом. Однако перечень показателей для контроля ВВ, установленный ТР ТС 018/2011 при выпуске АТС и ГОСТ 33997-2016, при эксплу-

² Структура российского парка транспортных средств по нормам токсичности / ООО «Автомобильная статистика» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.autostat.ru/infographics/38216/> (дата обращения: 20.12.2019).

атации АТС не учитывают выбросы дисперсных частиц (ДЧ) размером 2,5 (ДЧ_{2,5}) и 10 мкм (ДЧ₁₀), задача оценки которых и изучения их вредного воздействия на население в окрестности крупных автомагистралей в настоящее время становится более актуальной.

Обзор литературы

По мнению международных и отечественных учёных [4, 11–13, 15, 16], проблема выбросов ДЧ может приобрести чрезвычайный характер в мегаполисах, сопровождающийся многократным превышением предельно-допустимых концентраций (ПДК) токсичных веществ, адсорбирующихся на поверхности ДЧ и поступающих в придорожную территорию крупных автомагистралей. На автомобильной дороге, в отличие от промышленных (организованных) источников выбросов ДЧ, их образование и накопление происходит за счёт отработавших газов (ОГ) двигателей автомобилей,

разрушения слоя дорожного полотна, истирания тормозных механизмов, автомобильных шин и продуктов их взаимодействия (рисунки 1, 2), а также привнесённых извне частиц грунта, антигололёдных реагентов и др. [1–3, 7, 8, 12].

Проведённая сотрудниками кафедры МСис ОГУ оценка концентраций и количества ДЧ от продуктов изнашивания дисковых тормозных механизмов АТС счётчиком частиц позволили установить, что около 60 % ДЧ выделяется с аэродинамическим диаметром менее 10 мкм (от 2,5 до 10 мкм – грубая фракция). При этом из общей массы их выбросов 65,5 % ДЧ_{2,5} и 54,0 % ДЧ₁₀ оседают на внутренней поверхности штампованного колёсного диска, а соответственно 34,5 % ДЧ_{2,5} и 46,0% ДЧ₁₀ поступают в окружающую среду. Причём барабанные тормозные механизмы (за счёт их конструкции) практически не выделяют ДЧ, а, следовательно, и значительно меньше загрязняют окружающую среду [9].

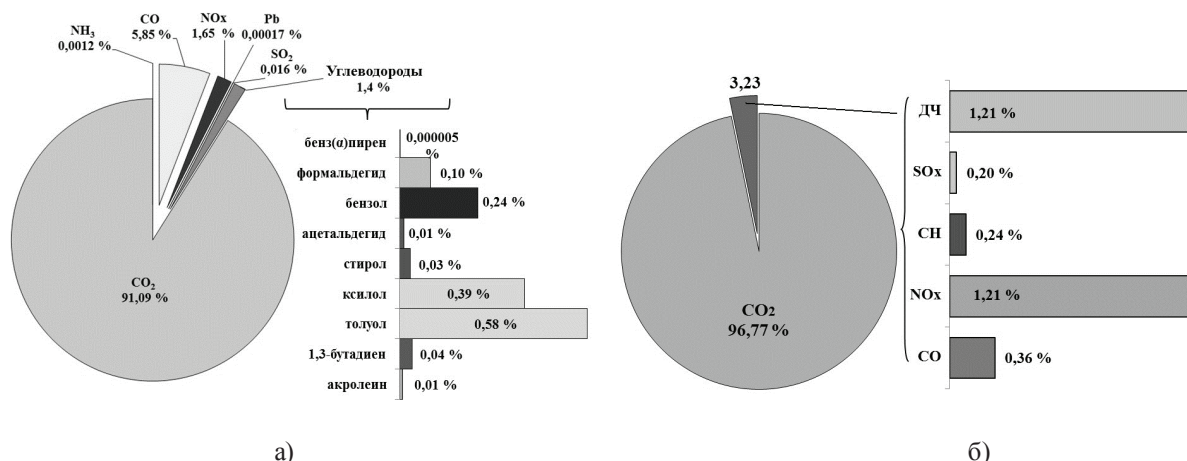
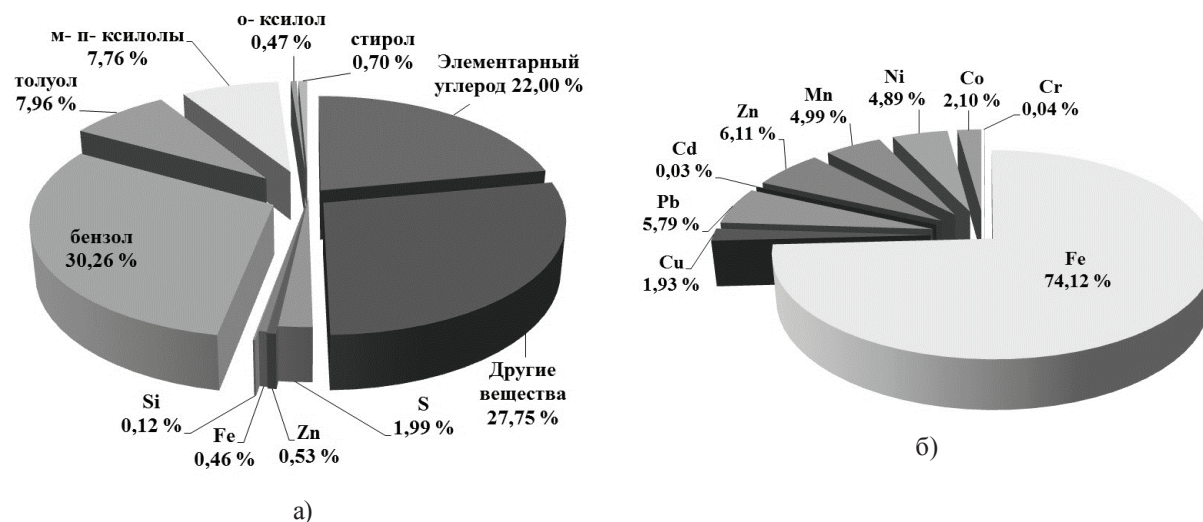


Рисунок 1. Соотношение состава и концентраций ВВ в ОГ двигателей с принудительным зажиганием (а) и с воспламенением от сжатия (б)



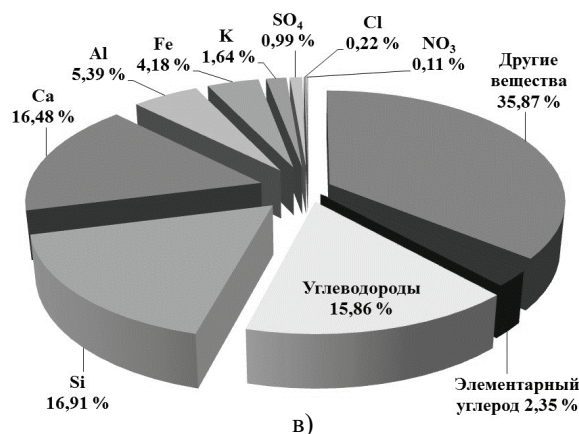


Рисунок 2. Соотношение состава и концентраций ВВ в продуктах изнашивания шин при температуре 90°C (а), тормозных накладок (б) и дорожного покрытия (в)

Результаты измерений концентраций ДЧ10 и ДЧ2,5 в ОГ грузовых автомобилей и спецтехники с дизельными двигателями показали, что почти у всех АТС концентрации ДЧ2,5 и ДЧ10 превышают ПДК (ПДК_{м.р.ДЧ10} = 0,300 мг/м³, ПДК_{м.р.ДЧ2,5} = 0,160 мг/м³). Максимальные концентрации ДЧ зафиксированы в ОГ АТС на повышенных частотах вращения коленчатого вала 1500 об./мин погрузчика LW300F (ДЧ2,5 = 0,682 мг/м³, ДЧ10 = 1,445 мг/м³), самосвалов Скания R440 (ДЧ2,5 = 0,243 мг/м³, ДЧ10 = 0,692 мг/м³) и SHACMAN F2000 (ДЧ2,5 = 0,573 мг/м³, ДЧ10 = 1,133 мг/м³). Проведённое нами обобщение позволило установить, что с основными компонентами их состава в атмосферу выбрасываются канцерогенные вещества (провоцирующие онкологические заболевания), альдегиды, сажа, бензол, толуол, формальдегид и прочие компоненты (рисунки 1, 2), адсорбирующиеся на ДЧ и переносящиеся на большие расстояния.

Дальнейший процесс эмиссии ДЧ в приземном слое атмосферы автомобильных дорог зависит от многочисленных физических факторов: турбулентных завихрений, порывов ветра над дорогой с движущимися по ней АТС, которые зависят от режима их движения и геометрических параметров (высота, ширина и длина). Известно, что степень загрязнения приземного слоя атмосферы также определяется процессами химического взаимодействия источников выбросов, геометрической конфигурации прилегающих препятствий и другими факторами. При этом, рециркуляция воздуха между домами в уличном пространстве под напором ветра над крышами прижимает к земле ДЧ от автотранспортного потока, создавая их повышенные концентрации [14]. При этом интенсивность выноса зависит от скорости движения и плотности автотранспортного потока [11, 13]. Как показали специальные исследова-

ния [4] в воздухе вблизи автомобильных дорог в Санкт-Петербурге выявлено 69 ВВ, так или иначе связанных с ВВ из состава ОГ двигателей, продуктами изнашивания шин, тормозных механизмов и дорожного покрытия, являющихся продуктами их вторичного взаимодействия с озоном воздуха. Из этого следует, что для каждого населенного пункта в зависимости от климатических условий, особенностей застройки и параметров автотранспортного потока следует определять свои характерные индикаторные химические вещества, характеризующие степень опасности атмосферных загрязнений, которые по рейтингу вредности могут быть отличными от выявленных в Оренбурге, Москве или в Санкт-Петербурге.

Таким образом, в связи с возможностью появления на автомобильных дорогах с интенсивным движением АТС высоких концентраций ДЧ задача идентификации основных источников выбросов ДЧ10 и ДЧ2,5 и прогнозирования их состава и концентрации в приземном слое атмосферы является актуальной при оценке экологической безопасности автотранспортных потоков.

Теоретико-методический подход. Для определения содержания концентраций ДЧ10 и ДЧ2,5 от автотранспортных потоков нами разработан алгоритм оценки экологической безопасности автотранспортных потоков по концентрациям ДЧ с учётом их гранулометрического состава (рисунок 3).

Согласно предложенному алгоритму измерения концентраций ДЧ с учётом их гранулометрического состава должны проводиться на участках улично-дорожной сети (УДС) г. Оренбурга с высокой интенсивностью автотранспортного потока. При этом на каждом участке УДС должен быть проведён расчёт подвижного состава с учётом категории АТС и средней интенсивности автотранспортного потока.

Подсчёт проходящих АТС по данному участку автомобильной дороги рекомендуется проводить в течение 5 минут с дальнейшим пересчётом в часы. Для фиксации количества АТС нами использовались секундомер и специально разработанные формы.

На исследуемых перекрёстках также нами рекомендуется фиксировать следующие параметры: ширина проезжей части (в метрах); количество полос движения в каждом направлении; протяжённость зоны перекрёстка, а также особенности застройки на придорожной территории автомобильных дорог. При отборе проб согласно требованиям РД 52.04.186-89 нами фиксировались такие метеорологические факторы как направление и скорость ветра (индукционный ручной анемометр АРИ-49), а также температура и влажность воздуха (психрометр Ассмана) и др. Концентрацию ДЧ определяли с помощью счётчика частиц Нт-9600. Также

дополнительно проводили измерения суммарных концентраций ДЧ в приземном слое атмосферы автомобильных дорог г. Оренбурга гравиметрическим методом. Для определения массовой концентрации ДЧ гравиметрическим методом применялось следующее оборудование: аспиратор ПУ ЗЭ/12; набор фильтров АФА; эксикаторы; силикагель КСКГ

(ГОСТ 3956-76); весы первого класса точности (МС-210Р) и др. Обезвоживание фильтров должно проводиться в герметичном эксикаторе не менее 24 часов. Массу исходных фильтров после обезвоживания определяли на весах электронных 1 разряда МС 210Р (заводской номер № 81205169, свидетельство о поверке весов № 12/4-5-2019).

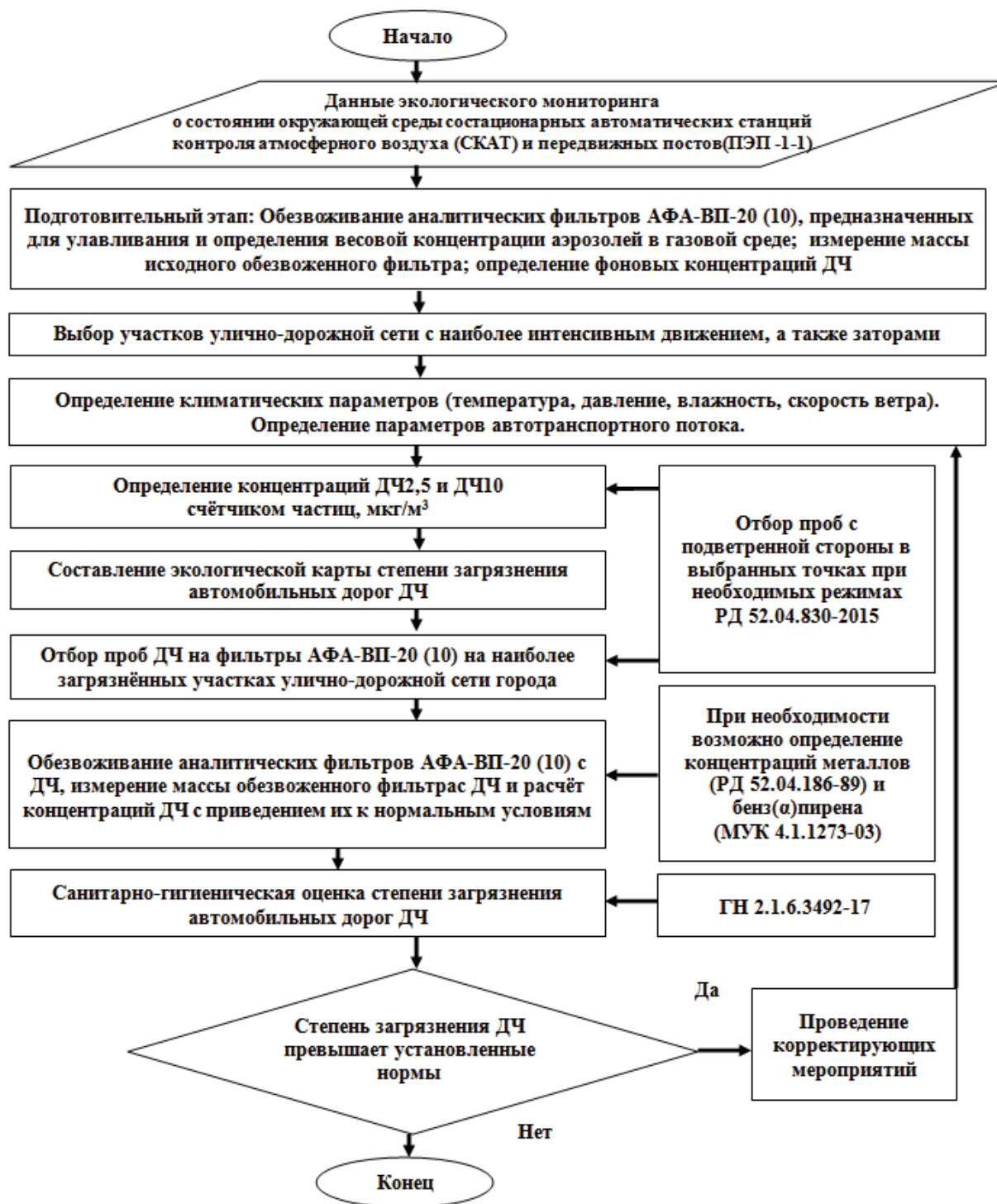


Рисунок 3. Предлагаемый алгоритм оценки экологической безопасности автотранспортных потоков по концентрациям ДЧ

Результаты исследования

Исследования состава и концентрации ДЧ10 и ДЧ2,5 нами проводились в тёплый период года на придорожной территории 36 перекрёстков автомобильных дорог г. Оренбурга с наиболее интенсивным движением. При измерении концентраций ДЧ от автотранспортного потока на каждом участке УДС фиксировалось по 5 результатов наблюдений,

после чего были рассчитаны средние концентрации ДЧ10 и ДЧ2,5 и составлена экологическая карта ДЧ от автотранспортных потоков г. Оренбурга (рисунок 4). По результатам исследования установлены наиболее загрязнённые участки УДС г. Оренбурга: перекрёстки пр-т Гагарина/ул. Мира, ул. Чкалова/ул. Уральская, пр-т Победы/ул. М Жукова, ул. Терешковой/ул. Орская (таблица 1).

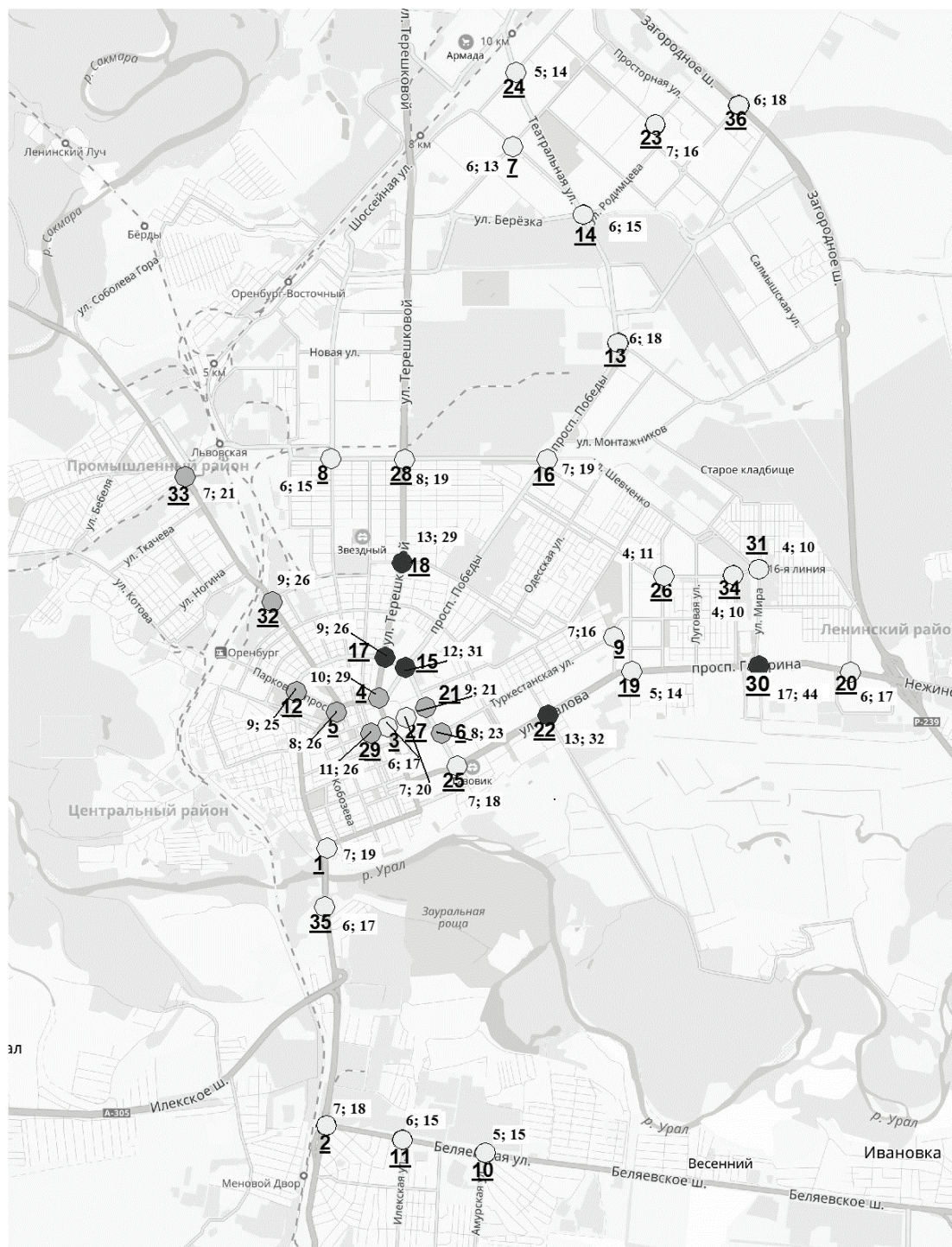


Рисунок 4. Фрагмент экологической карты ДЧ от автотранспортного потока г. Оренбурга (первая цифра – концентрация ДЧ 2,5, вторая – ДЧ10)

Таблица 1. Рейтинг наиболее загрязнённых участков ДЧ на УДС г. Оренбурга

Точки на карте и название перекрестка	Средние концентрации ДЧ, мкг/м ³		Количество ДЧ, ед./л			Климатические параметры			
	ДЧ 2,5	ДЧ 10	0,3 мкм	2,5 мкм	10 мкм	темпера- тура, °С	давление, мм рт. ст.	влаж- ность, %	скорость ветра, м/с
30 пр-т Гагарина / ул. Мира	17	44	89800	297	28	30,6	751	22,1	2,0
22 ул. Чкалова / ул. Уральская	13	32	69000	253	21	31,9	751	47,3	1,7
15 пр-т Победы / ул. М Жукова	12	31	70667	223	20	29,9	751	43,5	1,3
18 ул. Терешковой / ул. Орская	13	29	69667	277	19	28,8	751	43,8	1,5
4 ул. Терешковой / пр-т Победы/ул. Постникова	10	29	61000	187	16	31,2	751	36,6	1,3
29 ул. Комсомольская / ул. Володарского	11	26	60667	190	15	30,4	751	51,1	1,0
17 ул. Терешковой / ул. Рыбаковская	9	26	60333	207	17	33,2	751	37,0	0,7
32 пр-т Бр. Коростелевых / ул. Невельская	9	26	61000	203	14	34,0	751	31,5	0,5
5 пр. Парковый / ул. Постникова	8	26	62333	197	13	32,3	751	34,6	1,5
12 пр-т Парковый / ул. Рыбаковская	9	25	51667	170	11	31,3	751	30,9	1,0

При этом необходимо отметить, что концентрации дисперсных частиц существенно менялись в зависимости от порывов ветра, состава и интенсивности автотранспортного потока. Данные на карте показаны с учётом фоновых концентраций ДЧ_{2,5} = 2 мкг/м³, ДЧ₁₀ = 4,333 мкг/м³.

Для исследования закономерностей выбросов мелкодисперсных частиц от времени суток и степени их рассеивания нами проведено более подробное исследование концентраций ДЧ₁₀ и ДЧ_{2,5}

на перекрестке ул. Терешковой / ул. Орская (таблица 2). Результаты расчёта интенсивности автотранспортного потока с учетом категории АТС на перекрестке ул. Терешковой и ул. Орская приведены в таблице 3.

Повышенные концентрации ДЧ ожидаемо были зафиксированы в «часы пик». В этих временных диапазонах на перекрестке были проведены дополнительные измерения концентрации и количества ДЧ в 14 точках (рисунок 5, таблица 4).

Таблица 2. Результаты средних значений ДЧ в зависимости от времени суток и расстоянии от перекрестка ул. Терешковой и ул. Орская (фрагмент)

Время	Расстояние от автомобильной дороги, м	Концентрации ДЧ, мкг/м ³		Количество ДЧ, ед./л			Климатические параметры			
		ДЧ 2,5	ДЧ 10	0,3 мкм	2,5 мкм	10 мкм	темпе- ратура, °С	давление, мм рт. ст.	влаж- ность, %	скорость ветра, м/с
08:00	1	6	19	59667	117	10	23,8	747	43,7	1,6
	5	4	16	58000	100	8	24,9	747	41,9	1,6
	10	4	15	48667	103	9	25,7	747	40,2	1,6
13:00	1	5	13	44667	130	11	23,0	747	37,5	6,0
	5	4	11	56000	173	15	24,9	747	33,8	6,0
	10	2	8	22294	73	5	28,5	747	28,3	6,0

Время	Расстояние от автомобильной дороги, м	Концентрации ДЧ, мкг/м ³		Количество ДЧ, ед./л			Климатические параметры			
		ДЧ 2,5	ДЧ 10	0,3 мкм	2,5 мкм	10 мкм	температура, °С	давление, мм рт. ст.	влажность, %	скорость ветра, м/с
17:00	1	5	13	42667	140	11	29,4	747	29,2	4,3
	5	4	11	32667	90	6	30,7	747	27,9	4,3
	10	3	9	22211	63	4	31,1	747	28,8	4,3
21:00	1	16	45	64000	187	16	22,3	746	41,9	5,6
	5	13	37	77667	233	19	22,2	746	43,6	5,6
	10	14	40	116333	373	31	21,7	746	45,5	5,6

Таблица 3. Результаты расчёта интенсивности автотранспортного потока на перекрестке ул. Терешковой и ул. Орская (фрагмент)

Время наблюдения	Количество АТС по категориям за 5 мин., ед.						Расчетная интенсивность потока, авт./ч
	M ₁	M ₂	M ₃	N ₁	N ₂	N ₃	
08:00	380	11	20	9	4	–	5088
13:00	271	13	7	4	1	–	3552
17:00	239	7	10	4	1	–	3132
21:00	214	6	13	–	–	–	2796

В каждой точке на перекрестке выполнено по 5 наблюдений количества и концентрации ДЧ, с последующим расчетом средних значений. Анализ результатов исследований показал, что существенные концентрации ДЧ10 и ДЧ2,5 накапливаются именно в центральной части перекрёстков. Несмотря на то что, концентрации ДЧ не превышают гигиенических нормативов, они существенно изменяются от времени суток в зависимости от интенсивности АТС и скорости ветра. Нами установлено, что при неблагоприятных погодных условиях их содержа-

ние достигает 75 мкг/м³ для ДЧ10 и 20 мкг/м³ для ДЧ2,5. С целью совершенствования информационных систем мониторинга и прогнозирования чрезвычайного загрязнения ДЧ атмосферного воздуха на урбанизированных территориях нами проведено компьютерное моделирование с помощью программы SigmaPlot 11.0 и установлены зависимости концентраций ДЧ10 и ДЧ 2,5 от интенсивности автотранспортного потока и скорости ветра на перекрёстках г. Оренбурга (рисунок 8).

Таблица 4. Средние значения концентраций ДЧ в 14 точках на перекрестке ул. Терешковой / ул. Орская (фрагмент)

Точки на карте	Время	Концентрации ДЧ, мкг/м ³		Количество ДЧ, ед./л			Климатические параметры			
		ДЧ2,5	ДЧ10	0,3 мкм	2,5 мкм	10 мкм	температура, °С	давление, мм рт. ст.	влажность, %	скорость ветра, м/с
1	08:00	5	21	56667	153	14	22,433	752	53,233	2,000
	12:00	4	16	33333	100	9	31,833	752	40,500	3,333
	20:00	5	15	43333	113	11	37,167	749	20,567	4,000
7	08:00	5	18	52667	180	16	24,067	752	50,400	2,000
	12:00	4	13	31333	83	7	34,033	752	41,000	3,333
	20:00	6	14	38333	100	9	35,533	749	24,600	4,000
14	08:00	4	17	44000	117	11	23,867	752	53,333	2,000
	12:00	4	12	36000	113	10	33,000	752	42,033	3,333
	20:00	3	10	29333	87	6	34,033	749	25,067	4,000

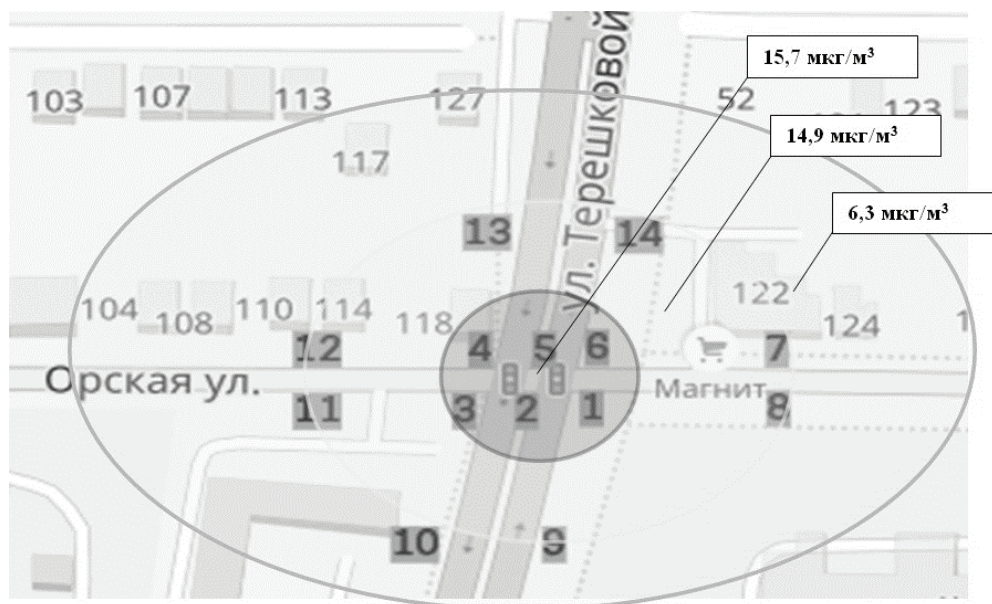


Рисунок 5. Участки загрязнения ДЧ10 на перекрёстке ул. Терешковой / ул. Орская

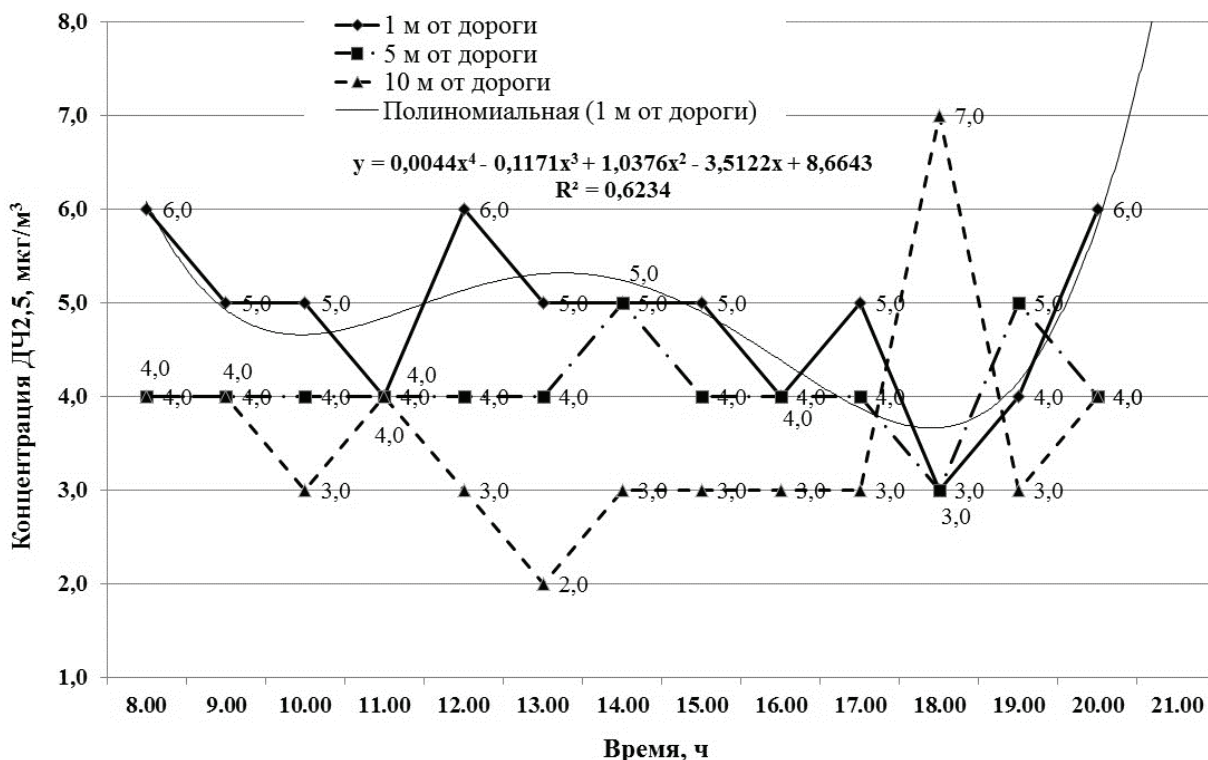


Рисунок 6. Зависимости концентраций ДЧ2,5 от времени суток на перекрёстке ул. Терешковой / ул. Орская

Для оценки суммарных концентраций ДЧ в придорожной территории автомобильных дорог г. Оренбурга нами на основе гравиметрического метода рассчитана масса осажённых на фильтре

АФА ДЧ в нулевой момент времени (таблица 5) и определены зависимости массы фильтра от времени взвешивания до и после отбора ДЧ на перекрестках г. Оренбурга (рисунок 9).

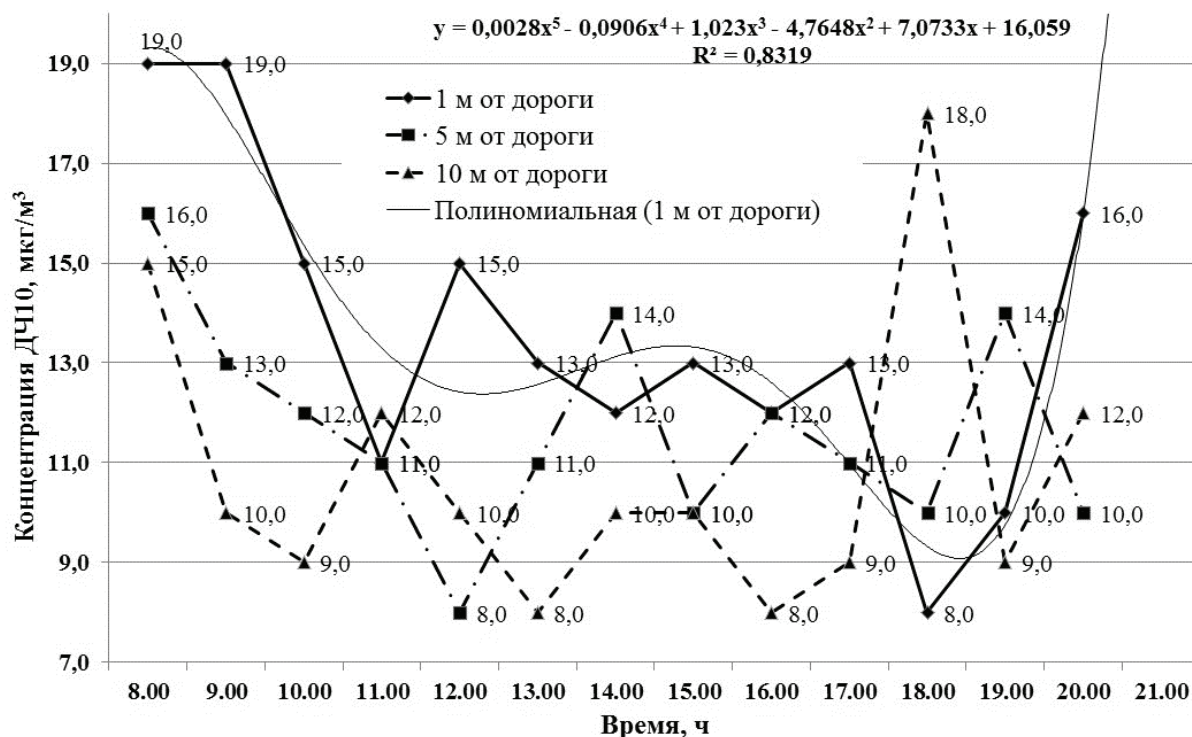


Рисунок 7. Зависимости концентраций ДЧ10 от времени суток на перекрёстке ул. Терешковой / ул. Орская

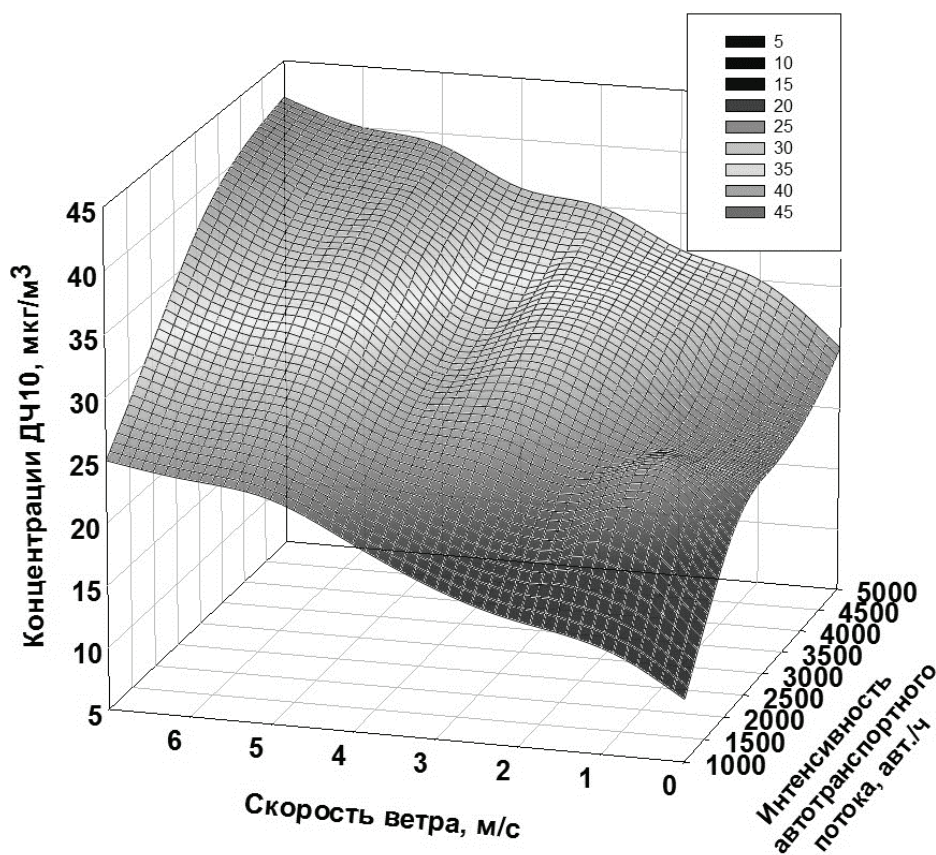


Рисунок 8. Зависимости концентраций ДЧ10 от скорости ветра и интенсивности автотранспортного потока на участках УДС г. Оренбурга

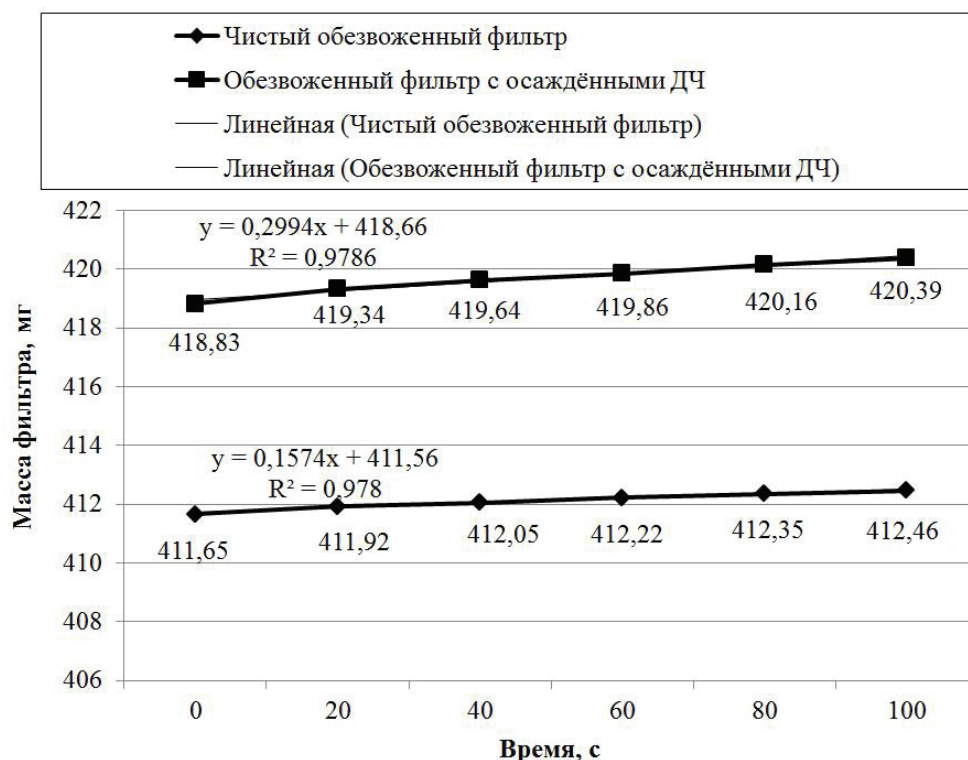


Рисунок 9. Зависимости массы фильтра до и после отбора ДЧ на перекрестке ул. Терешковой / ул. Орской

Таблица 5. Результаты расчёта суммарной концентрации ДЧ на перекрёстках г. Оренбурга (фрагмент)

Номер фильтра и уравнение для исходного фильтра после обезвоживания	Уравнение для исходного фильтра после обезвоживания с осажёнными ДЧ	Масса исходного фильтра после обезвоживания в момент времени $t = 0$, мг	Масса фильтра с ДЧ после обезвоживания в момент времени $t = 0$, мг	Разница в массах фильтрами до и после отбора проб, мг	Суммарная концентрация ДЧ, $мг/м^3$
1) $y = 0,104x + 401,05$	$y = 0,302x + 407,05$	401,05	407,05	6,00	1,86
2) $y = 0,138x + 411,79$	$y = 0,262x + 419,09$	411,79	419,09	7,30	3,16
3) $y = 0,15x + 409,78$	$y = 0,242x + 416,06$	409,78	416,06	6,28	2,14
4) $y = 0,113x + 400,87$	$y = 0,141x + 405,01$	400,87	405,01	4,14	–

Номера перекрёстков: 1 – просп. Победы / ул. Орская; 2 – ул. Терешковой / ул. Орская; 3 – просп. Победы / ул. Шевченко; 4 – фоновые концентрации

Обсуждение и заключение

Установлено, что на автомагистралях г. Оренбурга с различной интенсивностью движения массовые концентрации ДЧ_{2,5} и ДЧ₁₀ на остановках и перекрестках не превышали установленных гигиенических нормативов, однако их суммарное содержание было превышено от 4 до 6 раз. Кроме того, выявлена тенденция превышения концентраций ДЧ₁₀ и ДЧ_{2,5} в 2,5–4 раза на перекрестках по сравнению с перегонами.

С учетом полученных результатов нами рекомендуется проводить непрерывный мониторинг среднесуточных, а также максимально-разовых концентраций ДЧ вблизи крупных автомагистра-

лей с интенсивностью свыше 2000 АТС в час и более. Причём оценку экологической безопасности автотранспортных потоков по концентрациям ДЧ с учётом их гранулометрического состава нами рекомендуется проводить не только в тёплый, но и холодный период года, для которого характерны повышенный расход топлива, износ трущихся поверхностей тормозной системы, износ автомобильных шин, что значительно повышает содержание ДЧ₁₀ и ДЧ_{2,5} в придорожной территории автомобильных дорог.

Установленные зависимости между концентрацией ДЧ, интенсивностью автотранспортного потока и скоростью ветра позволят прогнозировать

уровень загрязнения атмосферы в зонах торможения и разгона АТС. Для снижения концентраций ДЧ и обеспечения экологической безопасности автотранспортных потоков в придорожной территории автомобильных дорог необходима разработка современных правовых и организационно-техни-

ческих мероприятий, обоснованных нами ранее [10]. Выполненные исследования также могут лечь в основу последующего расчета рисков здоровью населения от воздействия выбросов ДЧ10 и ДЧ2,5 и объективной оценки их содержания в придорожной территории автомобильных дорог г. Оренбурга.

Литература

1. Азаров В. К. Разработка комплексной методики исследований и оценки экологической безопасности и энергоэффективности автомобилей: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03. – Москва, 2014. – 136 с.
2. Барикова Н. С. Совершенствование системы мониторинга загрязнения воздуха придорожных территорий городов мелкодисперсной пылью: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.19. – Волгоград, 2017. – 159 с.
3. Вольнов А. С. Математическая модель для оценки загрязнения автотранспортными потоками приземного слоя атмосферы на перекрестках внутригородских автомобильных дорог // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2016. – № 7. – С. 103–111.
4. Другов Ю. С., Родин А. А. Пробоподготовка в экологическом анализе: монография. – СПб.: Анатомия, 2002. – 755 с.
5. Ерохов В. И., Николаенко А. В. Оценка экологической безопасности современных автотранспортных средств [Электронный ресурс] // Журнал «Транспорт на альтернативном топливе». – 2009. – № 1 (7). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-ekologicheskoy-bezopasnostisovremen-nyh-avtotransportnyh-sredstv> (дата обращения: 08.01.2020).
6. Кутенев В. Ф., Азаров В. К., Гайсин С. В. Проблемные вопросы оценки и нормирования национальными и международными правилами ООН выбросов вредных веществ автотранспортными средствами // Механика машин, механизмов и материалов, 2016. – № 3 (36). – С. 15–20.
7. Кутенев В. Ф., Степанов В. В., Азаров В. К. О реальном выбросе твёрдых частиц автомобильным транспортом // Журнал автомобильных инженеров, 2013. – № 4. – С. 45–47.
8. Леванчук А. В. Гигиеническая характеристика воздушной среды в зоне влияния дорожно-автомобильного комплекса [Электронный ресурс] // Журнал «Медицина и образование в Сибири». – Режим доступа: http://ngmu.ru/cozo/mos/article/text_full.php?id=1627. (дата обращения: 12.12.2019).
9. Третьяк Л. Н., Вольнов А. С. Совершенствование методов нормирования и оценки экологических показателей тормозных механизмов по составу и концентрации дисперсных частиц в продуктах их изнашивания // Прогрессивные технологии в транспортных системах: материалы XIII международной научно-практической конференции (15–17 ноября 2017 г., Оренбург) / М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования «Оренбургский гос. ун-т». – Оренбург, 2017. – С. 57–61.
10. Третьяк Л. Н., Вольнов А. С., Косых Д. А. Обеспечение экологической безопасности автотранспортных потоков путём комплексного учёта выбросов вредных веществ и разработки организационно-технических мероприятий // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2017. – № 11. – С. 40–46.
11. Трофименко Ю. В., Чижова В. С. Оценка загрязнения воздуха аэрозольными частицами размером менее 10 мкм от транспортных потоков на городских автомагистралях // Экология и промышленность России, 2012. – № 9. – С. 41–45.
12. Хесин А. И., Скудатин М. Е., Ушмодин В. Н. Канцерогенная опасность автомобильных шин [Электронный ресурс] // Национальная безопасность и геополитика России, № 10–11(51–52). – 2003. – Режим доступа: <http://www.hesin-tech.ru/article21.html> (дата обращения: 12.12.2019).
13. Чижова В. С. Повышение экологической безопасности автотранспортного комплекса путем снижения загрязнения воздуха дисперсными частицами размером менее десяти микрометров : диссертация ... кандидата технических наук : 05.22.10. – Москва: Моск. автомобил.-дорож. гос. техн. ун-т (МАДИ), 2016. – 166 с.
14. Berkowicz R. OSPM-apometerized Street pollution model//Kluwer. Academ. Publishers. Netherlands Environmental Monitoring and assessment. –2000. Vol. 65. – P. 341–359.
15. Kukkonen J. et al Analysis and evaluation of selected local-scale PM10 air pollution episodes in four European cities: Helsinki, London, Milan and Oslo // Atmospheric Environment. – 2005. – Vol. 39 (15). Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231005001615> (accessed 19.12.2019).
16. Quincey P., Butterfield D. Ambient air particulate matter PM10 and PM2.5: developments in European measurement methods and legislation // Biomarkers. – 2009. – Vol. 14(S1). – pp. 34–38.
17. Suleimanov, I. F., Moskova, E. V., Sabirov, R. G., Kalimullin, R. F., Filippov, A. A. Organization of vehicle traffic based on environmental monitoring of the air basin // Amazonia Investiga. – 2018. – Т. 7. – № 15. – С. 214–221.

References

1. Azarov, V. K. (2014) *Razrabotka kompleksnoj metodiki issledovaniy i ocenki ekologicheskoy bezopasnosti i energoeffektivnosti avtomobilej*. Dis. ... cand. tech. Sciences [Development of a comprehensive methodology for research and assessment of environmental safety and energy efficiency of cars. Dis. ... cand. tech. Sciences]. Moscow, 136 p.
2. Barikova, N. S. (2017) *Sovershenstvovanie sistemy monitoringa zagryazneniya vozduha pridorozhnyh territorij gorodov melkodispersnoj pyl'yu*. Dis. ... cand. tech. Sciences [Improving the monitoring system of air pollution of roadside territories of cities with fine dust. Dis. ... cand. tech. Sciences]. Volgograd, 159 p.
3. Volnov, A. S. (2016) [A mathematical model for assessing pollution by road flows of the surface layer of the atmosphere at the intersections of intracity roads]. *Intellekt. Innovacii. Investicii* [Intellect. Innovation. Investments]. Vol. 7, pp. 103–111. (In Russ.).
4. Drugov, Yu. S., Rodin A. A. (2002) *Probopodgotovka v ekologicheskom analize* [Sample preparation in environmental analysis]. St. Petersburg: Anatolia, 755 p.
5. Erokhov, V. I., Nikolaenko A. V. (2009) [Environmental safety assessment of modern vehicles]. *Zhurnal «Transport na al'ternativnom toplive»* [Journal of «Transport on alternative fuel»]. Vol. 1(7). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-ekologicheskoy-bezopasnosti-sovremennyh-avtotransportnyh-sredstv> (accessed: 08.01.2020). (In Russ.).
6. Kutenev, V. F., Azarov, V. K., Gaysin S. V. (2016) [Problematic issues of assessment and regulation by national and international UN rules of emissions of harmful substances by vehicles]. *Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov* [Mechanics of machines, mechanisms and materials]. Vol. 3 (36), pp. 15–20. (In Russ.).
7. Kutenev, V. F., Stepanov, V. V., Azarov, V. K. (2013) [About the real emission of solid particles by road transport]. *Zhurnal avtomobil'nyh inzhenerov* [Journal of automotive engineers]. Vol. 4, pp. 45–47. (In Russ.).
8. Levanchuk, A. V. (2015) [Hygienic characteristics of the air in the zone of influence of the road-road complex]. *Zhurnal «Medicina i obrazovanie v Sibiri»* [Journal «Medicine and Education in Siberia»]. Available at: http://ngmu.ru/cozo/mos/article/text_full.php?id=1627 (accessed 12.12.2019). (In Russ.).
9. Tretyak, L. N., Volnov, A. S. (2017) [Improving the methods of standardization and assessment of environmental indicators of inhibitory mechanisms by the composition and concentration of dispersed particles in the products of their wear]. *Progressivnye tekhnologii v transportnyh sistemah: materialy XIII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii 15–17 noyabrya 2017 g., Orenburg* [Progressive technologies in transport systems: materials of the XIII international scientific and practical conference November 15–17, 2017, Orenburg]. Moscow State University of Education and Science. Federation, Orenburg state university, Orenburg, pp. 57–61. (In Russ.).
10. Tretyak, L. N., Volnov, A. S., Kosykh, D. A. (2017) [Ensuring the environmental safety of motor flows through integrated accounting of harmful emissions and the development of organizational and technical measures]. *Intellekt. Innovacii. Investicii* [Intellect. Innovation. Investments]. Vol. 11, pp. 40–46. (In Russ.).
11. Trofimenko, Yu. V., Chizhova, V. S. (2012) [Assessment of air pollution by aerosol particles less than 10 microns in size from traffic flows on urban motorways]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia]. Vol. 9, pp. 41–45. (In Russ.).
12. Khesin, A. I., Skudatin, M. E., Ushmodin, V. N. (2003) [Carcinogenic hazard of car tires]. *Nacional'naya bezopasnost' i geopolitika Rossii* [National Security and Geopolitics of Russia]. Vol. 10–11 (51–52). Available at: <http://www.hesin-tech.ru/article21.html> (accessed 12.12.2019). (In Russ.).
13. Chizhova, V. S. (2016) *Povyshenie ekologicheskoy bezopasnosti avtotransportnogo kompleksa putem snizheniya zagryazneniya vozduha dispersnymi chasticami razmerom menee desyati mikrometrov*. Dis. ... cand. tech. Sciences [Improving the environmental safety of the motor transport complex by reducing air pollution with dispersed particles less than ten micrometers in size. Dis. ... cand. tech. Sciences]. Moscow, 166 p.
14. Berkowicz, R. (2000) OSPM-apometerized Street pollution model. Kluwer. *Academ. Publishers Netherlands Environmental Monitoring and assessment*. Vol. 65, pp. 341–359. (In Eng.).
15. Kukkonen, J. (2005) Analysis and evaluation of selected local-scale PM10 air pollution episodes in four European cities: Helsinki, London, Milan and Oslo. *Atmospheric Environment*. Vol. 39 (15). Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231005001615>, free access. (accessed 19.12.2019). (In Eng.).
16. Quincey, P., Butterfield, D. (2009) Ambient air particulate matter PM10 and PM2.5: developments in European measurement methods and legislation. *Biomarkers*. Vol. 14, pp. 34–38. (In Eng.).
17. Suleimanov, I. F., Moskova, E. V., Sabirov, R. G., Kalimullin, R. F., Filippov, A. A. (2018) Organization of vehicle traffic based on environmental monitoring of the air basin. *Amazonia Investiga*. Vol. 7, No. 15, pp. 214–221. (In Eng.).

Информация об авторах:

Людмила Николаевна Третьяк, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой метрологии, стандартизации и сертификации, Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

ORCID ID: 0000-0003-3410-0782, **Researcher ID:** F-3228-2019

e-mail: tretyak_ln@mail.ru

Александр Сергеевич Вольнов, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры метрологии, стандартизации и сертификации, Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

ORCID ID: 0000-0002-6014-4335, **Researcher ID:** E-4990-2016

e-mail: Volnov_AS@mail.ru

Статья поступила в редакцию: 25.12.2019; принята в печать: 28.02.2020.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Information about the authors:

Lyudmila Nikolaevna Tretyak, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Metrology, Standardization and Certification, Associate Professor, Orenburg State University, Orenburg, Russia

ORCID ID: 0000-0003-3410-0782, **Researcher ID:** F-3228-2019

e-mail: tretyak_ln@mail.ru

Alexander Sergeevich Volnov, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Department of Metrology, Standardization and Certification, Orenburg State University, Orenburg, Russia

ORCID ID: 0000-0002-6014-4335, **Researcher ID:** E-4990-2016

e-mail: Volnov_AS@mail.ru

The paper was submitted: 25.12.2019.

Accepted for publication: 28.02.2020.

The authors have read and approved the final manuscript.