

UDC 502

*Kargapolov N.V., Rafailova A.L. Evaluation of air pollution by road transport
in the Moscow region*

Оценка загрязнения атмосферного воздуха автомобильным транспортом в Московском регионе

Kargapolov Nikolay Vasilievich

Candidate of geographical sciences, Assistant professor,
Department of Ecology and Environmental Sciences
Moscow Pedagogical State University

Rafailova Anastasia Leonidovna

Master on the Department of Ecology and Environmental Sciences,
Moscow Pedagogical State University

Каргаполов Николай Васильевич
Кандидат географических наук, доцент кафедры экологии и
природопользования

Московский педагогический государственный университет
Рафаилова Анастасия Леонидовна

Магистр кафедры экологии и природопользования
Московский педагогический государственный университет

***Аннотация.** Предлагается методика оценки загрязнения атмосферы выбросами автомобильного транспорта. Проведены расчеты концентрации загрязняющих веществ и определены критерии формирования опасных концентраций (смог) вблизи МКАД. Определены основные параметры влияния природных и антропогенных факторов на уровень загрязнения атмосферы.*

***Ключевые слова:** загрязнение атмосферы, экологический стандарт Евро, расчеты выбросов автомобильного транспорта, неблагоприятные метеорологические условия (НМУ), динамика опасного загрязнения атмосферы.*

***Abstract.** The article considers evaluation technology of air pollution by emissions of motor transport, calculations of pollutants concentration, and defines criteria for formation of dangerous concentrations (smog) in close proximity to MСAR (MKAD). It reveals main parameters of natural and anthropogenic factors influence on the level of air pollution.*

***Keywords:** air pollution, Euro environmental standard, calculations of road transport emissions, adverse weather conditions (AWC), dynamics of dangerous air pollution.*

Автомобильный транспорт является мощным источником выбросов вредных веществ в атмосферу. С увеличением интенсивности движения и формированием особых климатических условий в крупных городах и мегаполисах связано резкое ухудшение экологической обстановки, что делает актуальной разработку технологии оценки загрязнения атмосферы и его динамики. Доля загрязнения атмосферы автомобильным транспортом постоянно растет и для крупных городов составляет 80% и более [Каргаполов, Рафаилова, 2018]. Все чаще возникают опасные для здоровья человека концентрации (смог), которые связаны с автотранспортом и неблагоприятными метеорологическими условиями (НМУ) препятствующими рассеиванию загрязнения в атмосфере [Каргаполов, 2016].

Максимальное загрязнение атмосферы приурочено к автомагистралям и прилегающим к ним территориям. Современная технология оценки загрязнения атмосферы автомобильным транспортом основывается на совместном анализе интенсивности выбросов выхлопных газов и активности их перемешивания с чистым воздухом. Интенсивность источников выбросов определяется в основном

антропогенными факторами, а интенсивность перемешивания обусловлена природными закономерностями [Каргаполов, 2010].

Среди антропогенных факторов можно выделить: общее количество, типы и возраст автомобилей в регионе, доля автомобилей различных экологических классов, количество грузовых автомобилей, ширина и состояние дорог, интенсивность автомобильного движения (трафик), доли грузового транспорта в общем потоке, качество топлива и его соответствие экологическим стандартам Евро и др. [Доклад....., 2017]. Важную роль в формировании опасного загрязнения атмосферы играет плотность застройки вдоль автомагистралей.

Природными факторами являются: физические характеристики атмосферы (скорость и направление ветра, влажность, температура и др.), рельеф, особенности почво-грунтов, водные объекты, растительность, и др.

Материалы и методы.

Предлагаемая оценка загрязнения атмосферного воздуха рассматривается на примере Московского региона. Количество автотранспорта в Московском регионе на начало 2017 года составило более 8 млн транспортных средств (4,88 млн в Москве и 3,17 млн в Московской области). 6,72 млн из них - легковые автомобили [Рафаилова, 2018] (рис. 1).

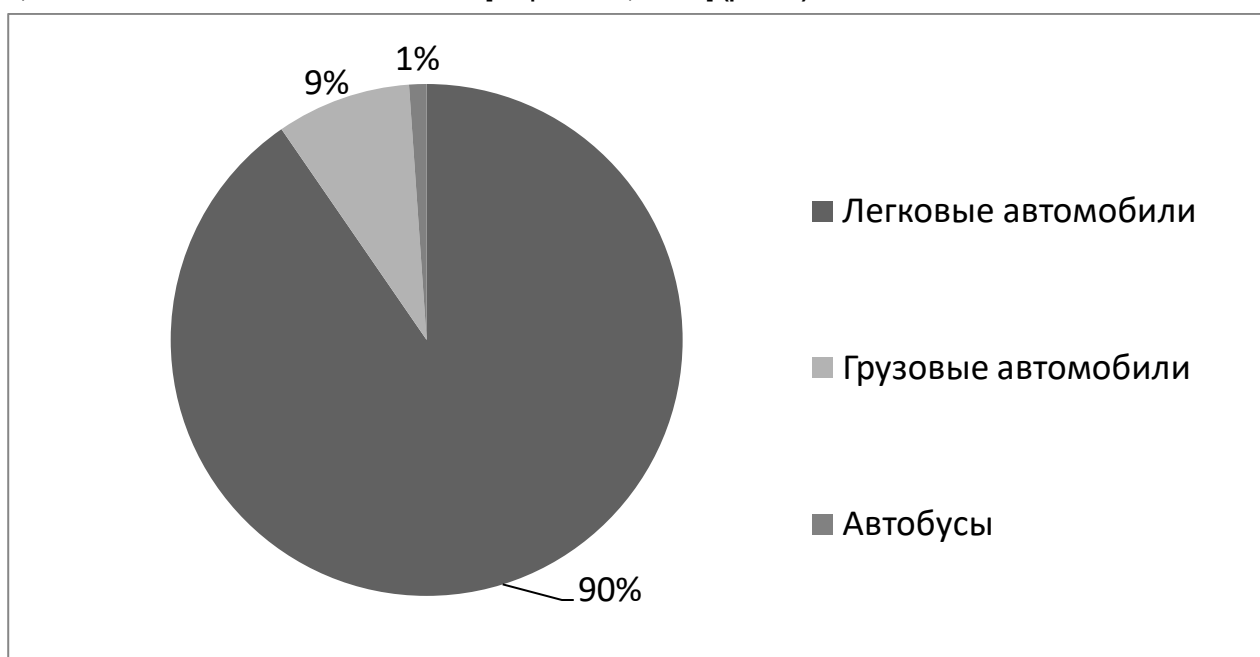


Рисунок 1. Автомобильный парк в Москве на начало 2017 года [Доклад... 2017]

При этом количество зарегистрированных автомобилей моложе 5 лет составило 41,6%, в возрасте от 5 до 10 лет – 26,0%, старше 10 лет – 32,3%. Доля зарегистрированных в городе Москве автобусов и грузовых автомобилей, возраст которых превышает 10 лет, составляет 38% и 36% соответственно (рис. 2).

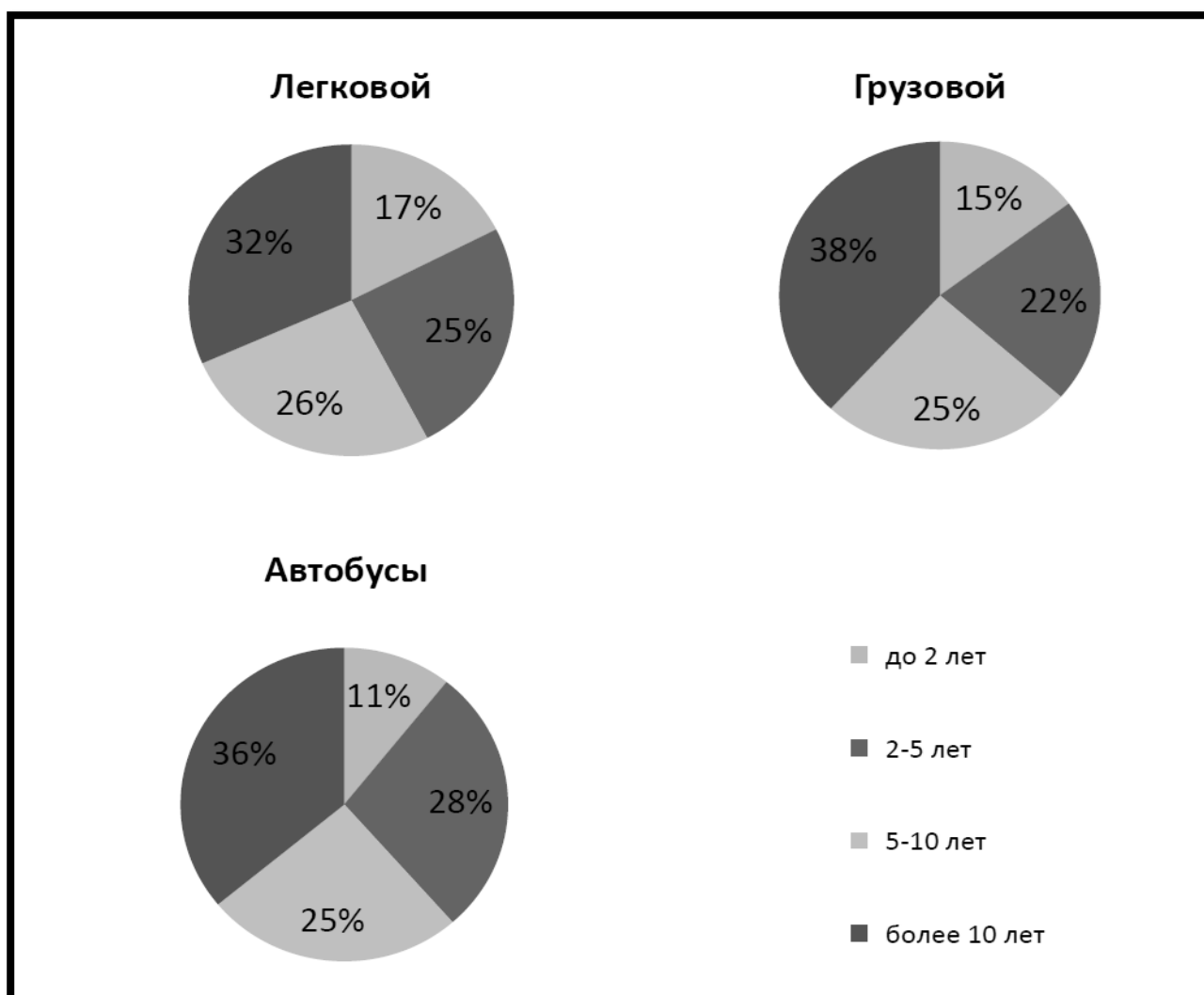


Рисунок 2. Динамика возрастной структуры автопарка Москвы и данные по типам автотранспорта по состоянию на начало 2016 года [Доклад...2017].

Несмотря на то, что происходит обновление автопарка автомобилями высоких экологических 4-го и 5-го классов, доля автотранспорта низкого 0-го класса все еще высока [Расчетная инструкция..., 2008]. Структура автопарка по экологическим классам Евро на начало 2016 года представлена в табл. 1.

По данным Департамента природопользования и охраны окружающей среды (ДПиООС) г. Москвы, наибольший вклад в валовые выбросы загрязняющих веществ по важным загрязняющим веществам вносят грузовой транспорт и автобусы, несмотря на то, что их значительно меньше, чем легкового транспорта. Это является следствием более высоких удельных выбросов и пробегов, меньшей доли автомобилей высоких экологических классов.

Структура автопарка Москвы по экологическим классам Евро

Экологический класс	Легковой автотранспорт	Грузовой автотранспорт	Автобусы
0	19,2 %	29,6 %	21,9 %
1	2,9 %	1,9 %	3,6 %
2	7,0 %	11,1 %	12 %
3	12,8%	17,3 %	39,8 %
4	38,8 %	32,8 %	21,1 %
5	19,2 %	7,2 %	1,6 %

Из за большого количества и технического разнообразия автотранспорта Московского региона применена расчетная методика оценки загрязнения атмосферы для конкретного места с одновременной характеристикой природных и антропогенных факторов. Использовалась методика ОАО «Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта» («НИИАТ») утвержденная комитетом по охране природы РФ в 2008 году [5]. Методика основана на подсчете проезжающих автомобилей определенных категорий, выбросы которых рассчитаны и предложены в таблицах. Выбросы загрязняющих веществ рассчитаны на основании мощности двигателя (объем цилиндров), характеристик автомобиля, особенностей топлива с учетом режима работы двигателя и экологической характеристики Евро (табл.2). Расчеты выбросов проводились по окиси углерода (CO), двуокиси азота (NO₂), двуокиси серы (SO₂), углеводородам (CH), саже, соединениям свинца (Pb), взвешенным частицам (PM), метану (CH₄), аммиаку (NH₃).

Результаты

Оценка загрязнения атмосферы автотранспортом апробирована на участке пересечения МКАД и Каширского шоссе. Сбор материала производился с 21.09.2016 по 27.09.2016. Для исследования были выбраны пункты наблюдения на 25 километре МКАД и на пересекающем ее Каширском шоссе (рис. 3).

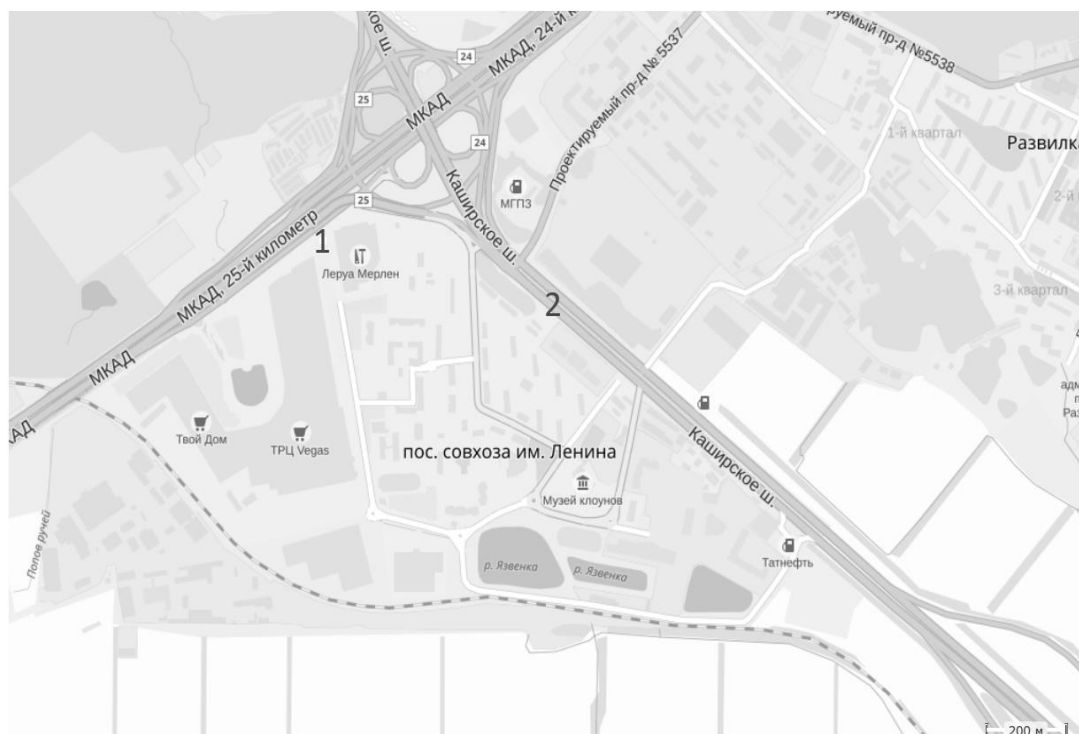


Рисунок 3. Карта- схема фактического материала

В пунктах наблюдения в течение 5 минут производился подсчет проезжающих автомобилей, относящихся к той или иной категории: легковые, грузовые и автобусы массой до 3,5 тонн, грузовые массой менее 7,5 тонн, грузовые массой от 7,5 до 16 тонн, грузовые массой более 16 тонн, автобусы массой более 3.5 тонн [7]. Ежедневно с 21.09.2016 по 27.09.2016 в вечернее время (с 18:30 до 19:40 местного времени) подсчитывались все автомобили, пересекающие створ дороги в ту и другую стороны. Итоговые результаты подсчета автомобилей (трафик) для МКАД и Каширского шоссе показали преобладание легковых автомобилей и значительное количество грузовых автомобилей грузоподъемностью более 3.5 тонн (рис. 4, рис. 5).

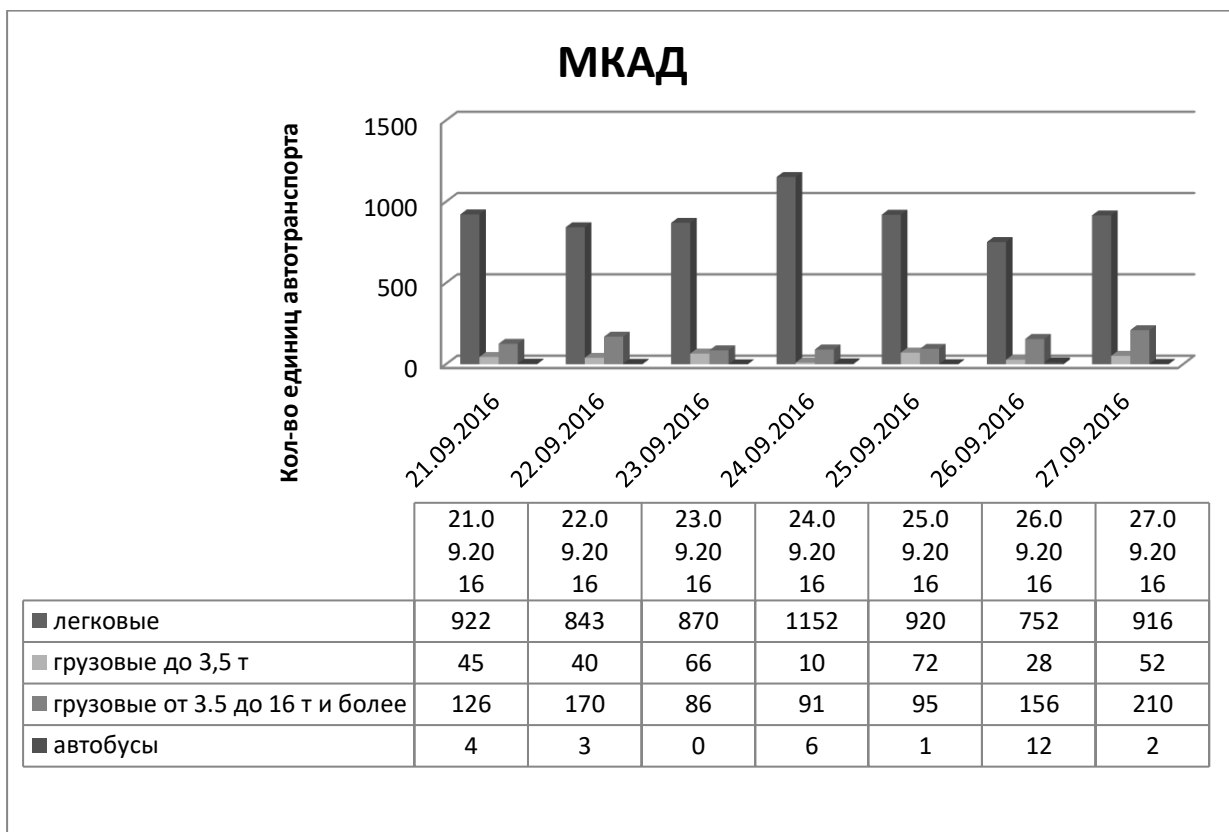


Рисунок 4. Транспортная нагрузка на МКАД с 21.09.2016 по 27.09.2016



Рисунок 5. Транспортная нагрузка на Каширское шоссе с 21.09.2016 по 27.09.2016

Результаты подсчетов регистрировались в таблицах для автомобилей определенного экологического стандарта Евро, которые стали базой для дальнейших расчетов (табл. 2). Фиксировалась дата и время наблюдения, ширина магистрали, погодные условия, температура воздуха, направление и скорость ветра. Расчеты выбросов загрязняющих веществ проводились по данным для каждого типа автомобилей, проезжающих створ дороги

Таблица 2

Выбросы загрязняющих веществ для стандарта Евро-3

Грузоподъемность автомобиля (тонн), его тип	Тип двигателя	Пробеговой выброс (мг на 100 м)							
		CO	CH	NO2	SO2	PM	Pb	CH4	NH3
Легковые все	Бензин	100	3	16	2.3	-	0,02	2	7
Грузовые и автобусы массой до 3,5 т	Бензин	220	4	20	5	-	0,045	2	10
Грузовые автомобили массой менее 7,5 т	Дизель	80	80	180	20	6	-	2	0.2
Грузовые автомобили массой от 7,5 – 16 т	Дизель	80	80	230	32	6	-	2	0.3
Грузовые автомобили массой более 16 т	Дизель	100	110	310	45	13	-	8	0.3
Автобус средний	Дизель	00	00	20	2	3	-	8	0.3
Автобус большой	Дизель	20	00	20	2	3	-	8	0.3

В расчетах учитывался объем загрязнённого воздуха, который рассчитывался по формуле:

$$V_i = l_{тр} \times b_{тр} \times h_i, \text{ м}^3$$

где V_i – объём загрязненного воздуха, м^3 ;

$l_{тр}$ – протяжённость исследуемого участка дороги, м (100м);

$b_{тр}$ – ширина трассы, м (42м на МКАД, 24м на Каширском шоссе, 6м на территории посёлка);

h_i – высота выбросов вредных веществ над уровнем земли, м (2.5 м);

Расчёт массы вредных выбросов, поступающих в атмосферный воздух при движении автомобилей всех расчетных типов, производился по формуле:

$$M_i = \sum m_{ijk}, \text{ мг/100м};$$

где M_i – масса i -го (загрязняющего) вещества, мг/100м;

j – грузоподъёмность АТС;

k – экологический класс АТС;

g – тип двигателя, используемый в данном классе АТС данной группы;

m_{ijk} – пробеговый выброс i -го вредного вещества автомобилем j -й группы k -го класса с g -м типом двигателя при движении по городу или вне населённых пунктов, мг/100м;

Полученные данные приводились к объёму воздуха по формуле:

$$M_i = \frac{\sum m_{ijk}}{V_i}, \text{ мг/м}^3$$

где M_i – масса i -го (загрязняющего) вещества, мг/м³

$\sum m_{ijk}$ – сумма пробеговых выбросов i -го веществ автомобилями j -й группы k -го класса с g -м типом двигателя при движении по городу или вне населённых пунктов, мг/100м;

V_i – объём загрязненного воздуха, м³

Результаты приводились к ПДК максимально разовой, ПДК средне суточный в соответствии с Государственным нормативом 2.1.6.1338-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест».

Физико-географические условия загрязнения атмосферы изученной территории характеризуются плоским рельефом не препятствующему движению воздуха, задернованными не образующими пыли почво-грунтами, отсутствием водных объектов увеличивающих влажность, отсутствием массива древесной или кустарниковой растительности способного очищать атмосферу. Динамика изменения климатических характеристик в период вечерних наблюдений с 21 по 27 сентября определялась незначительными изменениями влажности (пасмурно) и температуры (от 8 до 12 С). В то же время скорость ветра северного, северо-восточного, западного и юго-западного направлений менялась от 2 до 6 м/с. Исходя из имеющихся природных характеристик объекта главным фактором, влияющим на интенсивность, площадь и объём загрязнения атмосферы является скорость и направление ветра.

Интенсивность и площадь загрязнения определялась по принятому нами правилу минимального рассеивания в 2 раза при удалении загрязненного воздуха по ветру на ширину трассы. При этом учитывалась скорость ветра перпендикулярного к магистрали (табл. 3, рис. 6), которая рассчитывалась по формуле: $b = c \cdot \cos \alpha$,

где b – катет (скорость ветра перпендикулярно трассе, м/с);

c – гипотенуза (скорость ветра фактическая, м/с)

При совпадении направления ветра и магистрали перпендикулярная скорость вызванная движением машин принималась 0.1 м/сек.

Таблица 3

Расчетные скорости переноса перпендикулярно магистрали

п/п №	Дата	Ветер фактический		Ветер перпендикулярно магистрали		
		Направление	Скорость (м/с)	МКАД	Каширское шоссе	Развязка
1	21.09.2016	с/в	4	0,1	$4 \times \cos 15 = 3,9$	$4 \times \cos 45 = 2,8$
2	22.09.2016	С	2	$2 \times \cos 35 = 1,6$	$2 \times \cos 40 = 1,5$	$2 \times \cos 15 = 1,9$
3	23.09.2016	ю/з	6	0,1	$6 \times \cos 15 = 5,8$	$6 \times \cos 45 = 4,2$
4	24.09.2016	З	3	$3 \times \cos 55 = 1,7$	$3 \times \cos 50 = 1,9$	$3 \times \cos 80 = 0,5$
5	25.09.2016	с/в	6	0,1	$6 \times \cos 15 = 5,8$	$6 \times \cos 45 = 4,2$
6	26.09.2016	С	6	$6 \times \cos 35 = 4,9$	$6 \times \cos 40 = 4,6$	$6 \times \cos 15 = 5,8$
7	27.09.2016	С	6	0,1	$6 \times \cos 15 = 5,8$	$6 \times \cos 45 = 4,2$

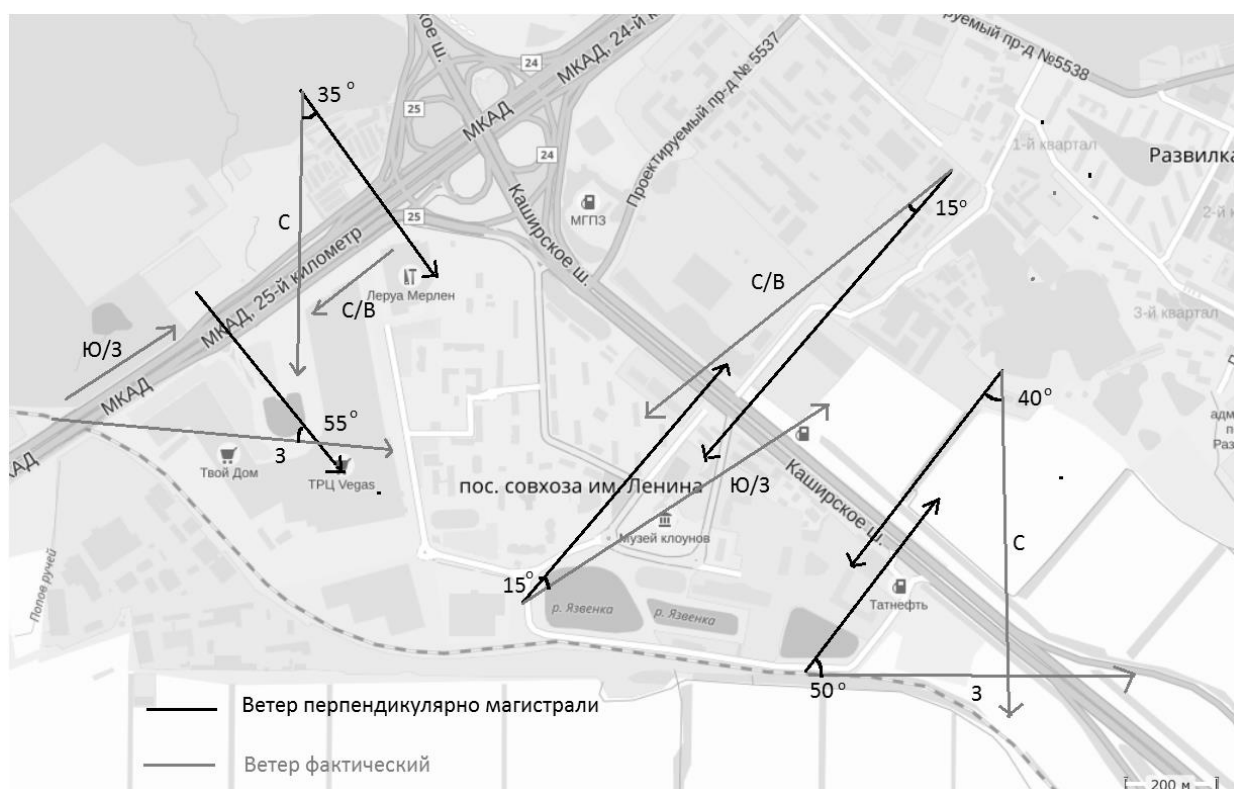


Рисунок 6. Расчет скорости перемещения загрязненного воздуха

Результаты исследования показали, что большая часть загрязнителей атмосферного воздуха на МКАД и Каширском шоссе превышают максимально разовые предельно допустимые концентрации. Наибольшую опасность на обеих магистралях представляют выбросы диоксида азота (до 25,5 ПДК м.р.), аммиака (до 4,5 ПДК м.р.) и оксида углерода (до 2,9 ПДК м.р.)

На МКАД наиболее неблагоприятная ситуация сложилась в субботу 24.09.2016, когда концентрации таких загрязняющих веществ, как аммиак, угарный газ, свинец и диоксид серы были максимальны. Так, концентрация аммиака в этот день составила 4 ПДК м.р., а угарного газа - 2.4 ПДК м.р. (рис. 7). В этот же день нами было отмечено наибольшее количество легкового автотранспорта (1152) на МКАД.

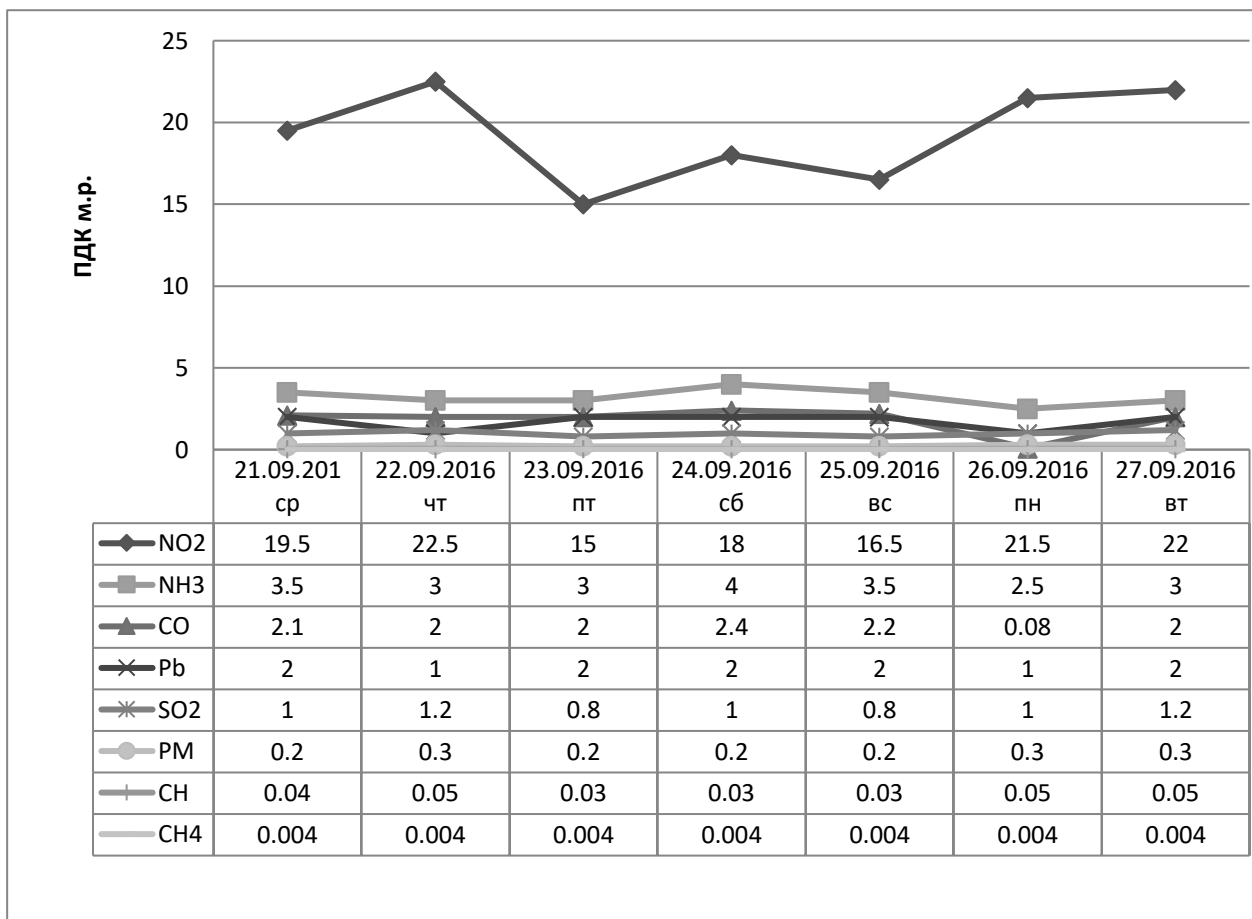


Рисунок 7. Недельный ритм загрязнения атмосферы на МКАД в сентябре 2016 года (Евро-3, ПДК м.р.)

На Каширском шоссе максимальные концентрации большинства опасных веществ были зафиксированы в воскресенье 25.09.2016. Так, концентрация выбросов диоксида азота в этот день оставила 25.5 ПДК м.р., аммиака - 4,5 ПДК м.р, оксида углерода - 2,3 ПДК м.р, диоксида серы - 1,2 ПДК м.р., взвешенных веществ - 1 ПДК м.р. (рис. 8). В этот день отмечено наибольшее количество грузового автотранспорта массой более 3,5 т (102).

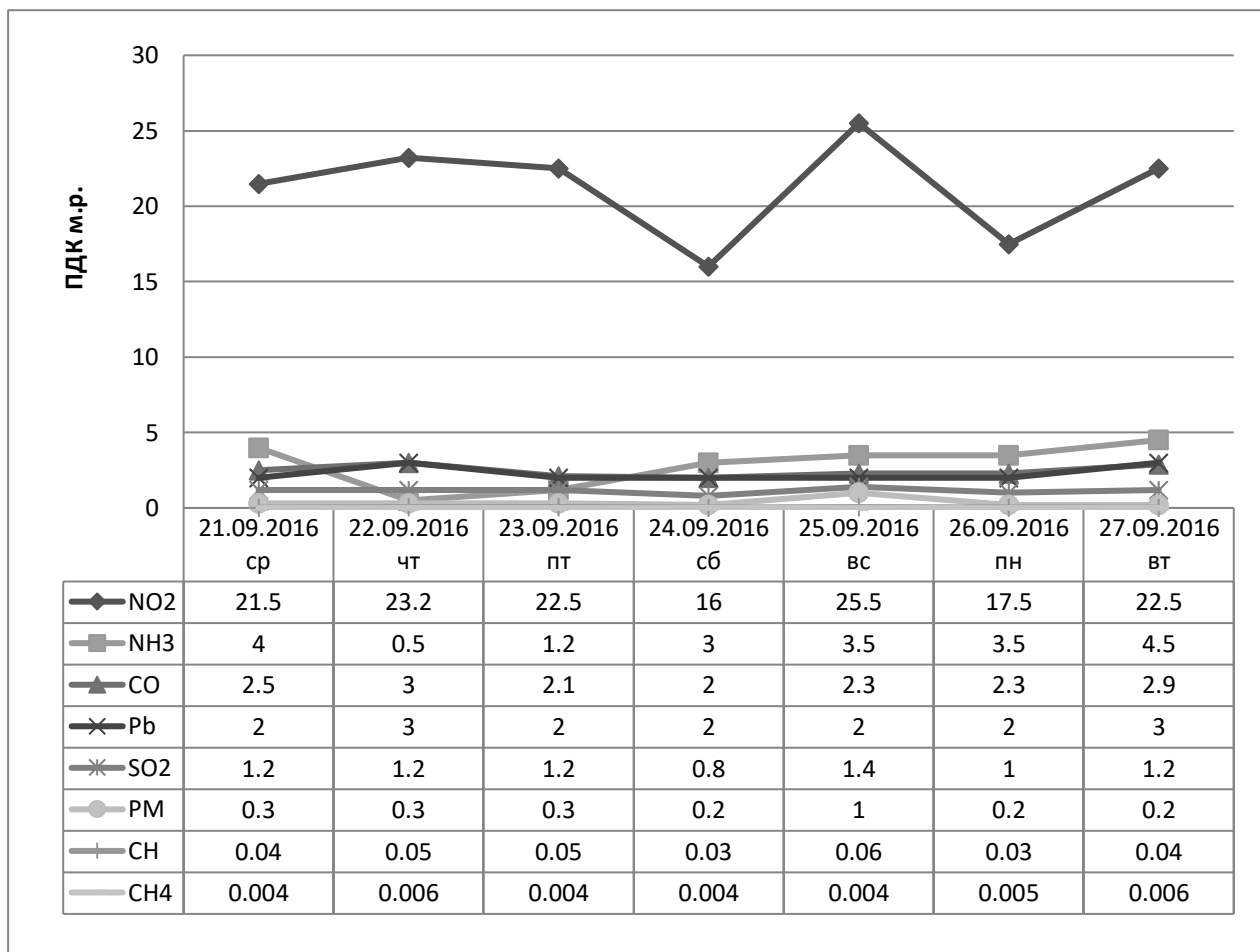


Рисунок 8. Недельный ритм загрязнения атмосферы на Каширском шоссе в сентябре 2016 года (Евро-3, ПДК м.р.)

Оценка загрязнения вблизи магистралей предусматривает расчет переноса загрязняющих веществ с фактическими и неблагоприятными метеорологическими условиями (НМУ) при скоростью ветра 0.1 м/сек, что способствует возникновению высоких концентраций. Параметры полей загрязнения наиболее опасных по нашим данным диоксида азота и оксида углерода рассчитывались на реальный ветер и на НМУ при ветре вдоль магистрали или отсутствии ветра. Результаты расчета скоростей ветра поперек магистрали на время наблюдения приведены в таблице 4.

Таблица 4

Метеорологические условия на пересечении МКАД и Каширского шоссе с 21.09.2016 по 27.09.2016

Дата	Ветер фактический		Ветер перпендикулярно магистрали, скорость (м/с)	
	Направление	Скорость (м/с)	МКАД	Каширское шоссе
21.09.2016	с/в	4	0,1	3,9
22.09.2016	с	2	1,6	1,5
23.09.2016	ю/з	6	0,1	5,8
24.09.2016	з	3	1,7	1,9
25.09.2016	с/в	6	0,1	5,8
26.09.2016	с	6	4,9	4,6
27.09.2016	с/в	6	0,1	5,8

Результаты расчетов показывают, что высокие содержания диоксида азота и оксида углерода при неблагоприятных метеорологических условиях могут медленно переноситься перпендикулярно дороги на значительные расстояния.

Наибольшая площадь загрязнения выше ПДК диоксидом азота, исходя из правила расчета уменьшения концентрации в два раза при удалении на ширину дороги, (рис. 9) достигает 168 метров. Она отмечена нами четыре раза на МКАД при северо-восточном и юго-западном ветрах, дующих вдоль магистрали.

Уровни загрязнения воздуха по указанной территории оксидом углерода меньше и достигают 84 метров. Однако при северном (2 м/с) и западном (3 м/с) ветрах воздух на МКАД полностью очищается от оксида углерода, а при северном ветре скоростью 6 м/с - от всех загрязняющих веществ. На Каширском шоссе экологическая ситуация значительно лучше. Воздух полностью очищается при северном, северо-восточном, юго-западном и западном ветрах скоростью больше 2 м/с.

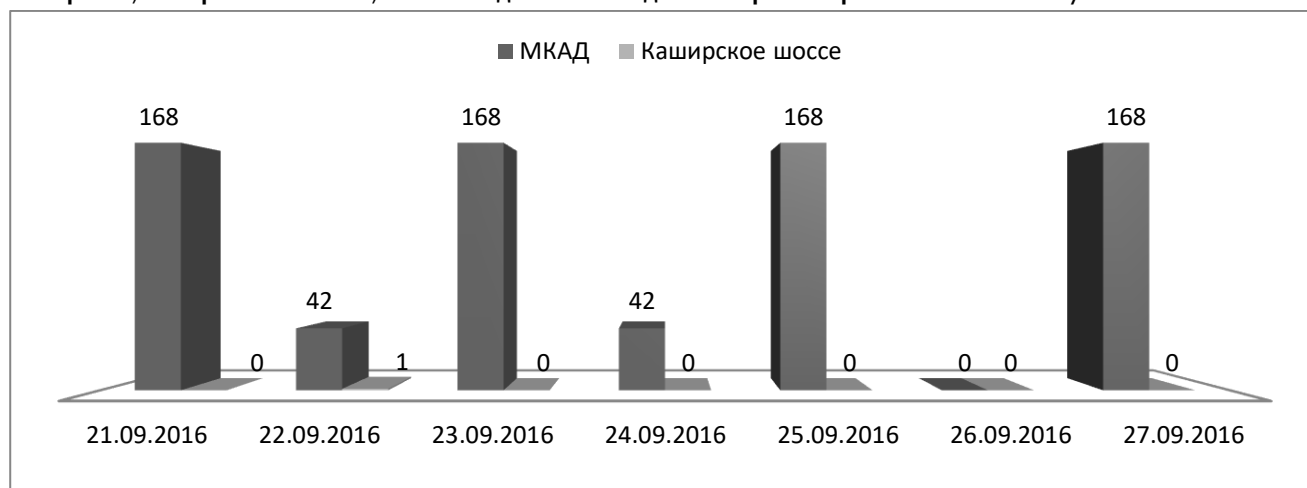


Рисунок 9. Изменение площади опасного загрязнения атмосферного воздуха диоксидом азота на пересечении МКАД и Каширского шоссе в зависимости от скорости ветра с 21.09.2016 по 27.09.2016.

Расчет переноса загрязняющих веществ от магистрали показал тесную зависимость от скорости и направления ветра. Возникающие неблагоприятные метеорологические условия (НМУ), в том числе совпадение направления ветра и магистрали способствуют увеличению площади опасного загрязнения, создавая более контрастную в сравнении с трафиком динамику.

Выводы

1. В Московском регионе на пересечении МКАД и Каширского шоссе отмечены высокие концентрации загрязняющих веществ в атмосфере, которые обусловлены напряженным трафиком и значительным количеством грузовых автомобилей не соответствующих высоким стандартам Евро.

2. Недельное наблюдение выбросов для времени напряженного вечернего трафика показало динамику концентраций, достигающую 40% - 50%, связанную с выходными днями и количеством грузовых автомобилей. Концентрации ряда загрязняющих веществ на магистралях превышают ПДК: NO₂ в 15- 25 раз, CO и CH₃ в 1.5-4.5 раз, Pb и SO₂ в некоторые дни в 1.2 – 3 раза.

3. Наибольшую опасность для окружающей территории представляет загрязнение диоксидом азота, площадь опасного загрязнения которого достигает сотен метров от магистрали. Однако, несмотря на высокие концентрации, загрязнение полностью рассеивается при ветрах поперек магистралей более 2 м/с на Каширском шоссе и более 5 м/с на МКАД.

4. Предлагаемый способ оценки загрязнения автомобильным транспортом основана на расчетных методах с обязательным учетом трафика, экологического класса автомобилей (Евро), скорости ветра и неблагоприятных метеорологических условий (НМУ).

5. Важно отметить, что ведущую роль в формировании опасного загрязнения атмосферы изученного объекта играют местные метеорологические условия, в том числе совпадение направления ветра и магистрали.

References

1. Доклад «О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2016 году» / Под ред. А.О. Кульбачевского. - М.: ДПиООС; НИИПИ ИГСП, 2017.- 363 с.

2. Каргаполов Н.В. Геохимические исследования в городских экосистемах // МПГУ, журнал Социально-экологические технологии, 2016. №3.С. 31-38.

3. Каргаполов Н.В. Геохимическая экологическая функция атмосферы городов // География: проблемы науки и образования: LXIII Герценовские чтения. Материалы ежегодной Международной научно-практической конференции 22-24 апреля 2010 г., Санкт-Петербург. С.30-32.

4. Каргаполов Н.В., Рафаилова А.Л. Динамика загрязнения атмосферного воздуха у пересечения Московской кольцевой автомобильной дороги (МКАД) и Каширского шоссе // Компьютерные, прикладные и инженерные инновации и модернизация отраслей промышленности: сборник научных трудов по материалам I Международной научно- практической конференции, 20 сентября 2018 г., Санкт-Петербург: Профессиональная наука, 2018. - С 19-22

5. Расчетная инструкция (методика) по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ от автотранспортных средств на территориях крупнейших городов.: Министерство транспорта Российской Федерации, - Москва, 2008.

6. Рафаилова А.Л. Оценка загрязнения атмосферного воздуха автомобильным транспортом //Труды шестой международной научно-практической конференции. «Индикация состояния окружающей среды: теория, практика, образование». М.: Буки-Веди. 2018 - С.256 - 263.