

Введение Развитие дорожной инфраструктуры, планы и программы развития территорий, основанные на транспортной логистике [1, 2], вызывают необходимость изучения факторов и показателей эмиссии вредных веществ в атмосферный воздух и определения вклада каждого из них в общую картину загрязнения. Величины загрязнения в основном зависят от топографии местности, объема перевозок, средней скорости движения транспортных средств, метеорологических и климатических условий [3-5]. Состав отходящих газов автотранспорта зависит от ряда факторов: типа двигателя и топлива, режима работы и нагрузки, технического состояния автомобиля и качества топлива. Из выхлопных труб машин при этом может выбрасываться до 300 различных соединений, в том числе и металлов [6, 7]. Выбросы вредных веществ от автотранспорта всех типов [4] включают оксид углерода (CO), летучие органические вещества, оксиды азота, диоксид углерода (CO₂), взвешенные вещества. Оксид углерода (CO) – бесцветный газ без запаха и вкуса, вредное вещество, образующееся при неполном сгорании топлива (окислении углерода при недостатке кислорода). Основная эмиссия CO в атмосферный воздух происходит при малых скоростях движения и при торможении. CO – прекурсор образования озона в воздухе урбанизированных территорий, который, в свою очередь является фотооксидантом, способствует образованию кислотных дождей и «парниковому эффекту» [8, 9]. Летучие органические вещества – ансамбль вредных веществ антропогенного происхождения, кроме метана, способных, в присутствии оксидов азота и света синтезировать фотохимические загрязнители. Как и CO, они образуются при неполном сгорании топлива. Также речь идет об углеводородах, испаряющихся из бензобаков или во время заправки автомобилей, растворителях от нанесения лакокрасочных покрытий [10]. Оксиды азота (NO_x) – в городском воздухе включают монооксид азота (NO) и диоксид азота (NO₂). Монооксид азота выбрасывается непосредственно из выхлопной трубы и его образование зависит от температуры: чем она выше, тем значительнее количества образующегося монооксида азота. Этой особенностью объясняется факт увеличения выбросов NO в пробках, когда температура двигателя повышается. Монооксид азота под воздействием атмосферного воздуха окисляется менее, чем за 2 минуты до диоксида азота. Именно быстрота данной реакции относит именно диоксид азота к приоритетным загрязнителям атмосферы. Содержание диоксида азота максимально вблизи высоконагруженных автомагистралей и в центре города. Особенно высока его концентрация в условиях антициклонов и зимней термической инверсии. Оксиды азота играют значительную роль в образовании озона в нижних слоях атмосферы и в формировании кислотных дождей [11, 12]. Диоксид углерода (CO₂) – бесцветный газ без запаха, присутствующий в атмосферном воздухе (объемная концентрация 0,0375%). Образуется при сгорании (окислении) органических соединений, имеет свойства вызывать «парниковый эффект» [13].

Диоксид серы (SO₂) – образуется при работе дизельных двигателей, что обусловлено содержанием серы в топливе. Сера, содержащаяся в дизельном топливе, окисляется до SO₂ и сульфатов (SO₄²⁻) в процессе сгорания с дальнейшим образованием серной кислоты (H₂SO₄) и солей металлов. Сульфаты занимают 5–10% от суммы твердых частиц в отработанных газах дизельных двигателей [14]. Взвешенные вещества – их образование связано со сгоранием нефтепродуктов, истиранием шин и тормозных колодок. Их обнаруживают, главным образом, в центре города, и они сочетают в себе высокую степень эмиссии и слабую дисперсию загрязнителей. В состав взвешенных веществ от выбросов автомобильного транспорта входит широкий перечень металлов, который показан в табл. 1 с указанием типа эмиссии [15, 16].

Таблица 1 - Типы эмиссии металлов от передвижных источников (0 означает отсутствие эмиссии)

№п/п	Вредное вещество	Эмиссия с выхлопными газами	Эмиссия от разрушения тормозных колодок	Эмиссия от истирания шин
1	Мышьяк (As)	+	+	+
2	Кадмий (Cd)	+	+	+
3	Хром (Cr)	+	+	+
4	Медь (Cu)	+	+	+
5	Ртуть (Hg)	0	0	0
6	Никель (Ni)	+	+	+
7	Свинец (Pb)	0	+	+
8	Цинк (Zn)	+	+	+
9	Сурьма (Sb)	0	+	+
10	Кобальт (Co)	0	+	+
11	Марганец (Mn)	+	+	+
12	Ванадий (V)	+	+	+
13	Барий (Ba)	0	+	+
14	Селен (Se)	+	+	+

Поступление металлов As, Cd, Ni, Pb, Hg, Cr, Mn, Co с выбросами передвижных источников загрязнения меньше по валовому количеству, чем от стационарных источников, о чем свидетельствуют данные, представленные в табл. 2 и на рис. 1. Однако, поступление металлов с выбросами автотранспорта происходит на малой высоте, с небольшой скоростью выхода и компоненты выбросов сразу оказываются в приземном слое воздуха, на уровне дыхания человека. А по Cu, Zn, V, Ba, Se, Sb доминирует поступление с выбросами передвижных источников загрязнения.

Таблица 2 - Валовые выбросы тяжелых металлов от секторов экономики и передвижных источников (кг/год)

№ п/п	Промышленность и энергетика	Транспорт	Ж/д транспорт	Всего
As	716	3	719	
Cd	608	56	664	
Ni	5315	453	5768	
Pb	13091	689	13780	
Hg	359	0,5	359,5	
Cr	4051	377	4428	
Cu	2252	24609	5577	32438
Zn	15671	15320	30991	
Mn	6999	1097	8096	
Co	27	11	38	
V	908	102683	103591	
Ba	239	567	806	
CrVI	17	–	17	
Se	37	65	102	
Sb	12	2412	2424	

Рис. 1 - Распределение эмиссии металлов от секторов экономики и передвижных источников

Согласно результатам исследования рассеивания отработанных газов автомобилей в атмосфере, максимальные концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе отмечаются в зонах, непосредственно примыкающих к проезжей части магистрали и быстро убывают с увеличением расстояния от нее. Вместе с тем, масштабы загрязнения почвы на придорожной территории оценивается неоднозначно. Одни исследователи отмечают вблизи дорог полосу загрязнения 150-300 м, другие – всего лишь 30-50 м [17-25]. Поэтому, вопрос об оценке протяженности полосы загрязнения остается актуальным. Транспортные потоки в городах носят импульсивный характер, при котором движение с постоянной скоростью может

прерываться или тормозиться, после чего следует набор скорости. Максимальные выбросы вредных веществ отмечаются в режиме холостого хода, немного меньше при торможении и разгоне, а в процессе равномерного движения они в 5-10 раз меньше. На перекрестках загрязнение выше, т.к. при движении автомобиля происходит быстрое рассеивание струи отработавших газов, а при работающем двигателе стоящего автомобиля процесс разбавления воздухом и рассеивание вредных веществ происходит при менее благоприятных условиях [26-33]. Опасность загрязнения атмосферы городов выбросами автотранспорта усугубляется тем, что систематические наблюдения за качеством воздуха в районе действия автомагистралей не проводятся вообще или эпизодичны, данные стационарных постов наблюдения не позволяют выделить вклад автотранспортной составляющей в формируемый уровень загрязнения. В связи с рядом сложностей организационного, методического экономического характера и другими в настоящее время невозможно организовать сеть мониторинга за качеством атмосферного воздуха в зонах интенсивного движения автотранспорта. Поэтому представляется целесообразным использовать расчетные методы [19, 26, 34-38]. Специфика рассеяния выбросов от автотранспорта накладывает дополнительные ограничения на методологию исследований и точность получаемых расчетных данных: - определение величины выброса от передвижных источников возможно с довольно значительной погрешностью. Строго говоря, определение величины выброса от автомобильной магистрали представляет собой отдельную многофакторную задачу, в конечном счете, определяющую точность последующего моделирования рассеяния; - рассеяние загрязнения от автотранспорта происходит на порядок в большей скорости убывания концентрации примеси при отдалении от источника, по сравнению со стационарными приподнятыми источниками, что несколько повышает точность моделирования, поскольку, чем дальше от источника, тем больше смещение оси факела от расчетного; - рассеяние происходит в пределах жилой застройки, и, прежде всего, определяется аэродинамикой обтекаемых поверхностей совместно с локальным вектором скорости ветра и относительно инертно по отношению к остальным метеопараметрам [26, 39-43]. Расчетные методы позволяют построить модель загрязнения объекта окружающей среды металлами с возможностью его оценки в любой точке изучаемого пространства. Другим вариантом оценки уровня загрязнения металлами приземного слоя атмосферы в зоне действия автомагистралей является использование концентраций металлов в депонирующих средах [17, 44-51]. Оценка уровня загрязнения атмосферы, по данным изучения загрязненности депонирующих компонентов среды, хорошо известна и вошла в РД 52.04.186-89 (п.3.4.6 «косвенные методы исследования уровня загрязнения атмосферы»).