



УДК 504.056:656(571.53)

## Загрязнение атмосферного воздуха Иркутской агломерации выбросами автомобильного транспорта

С. А. Новикова, М. Ю. Шиховцев

Новикова Светлана Александровна, старший преподаватель, Иркутский государственный университет, novikovasveta41@mail.ru

Шиховцев Максим Юрьевич, магистрант, Иркутский государственный университет, max97irk@yandex.ru

Целью статьи является оценка вклада выбросов автотранспортных средств в загрязнение атмосферного воздуха Иркутской агломерации на примере крупного промышленно-транспортного города Ангарска. Осуществлены расчеты выбросов на основе данных натурных обследований состава и интенсивности движения автотранспортных средств на крупных перекрестках г. Ангарска в часы пик. С помощью программного комплекса «Эколог» рассчитана концентрация основных вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу автотранспортом. По результатам проведенных расчетов построены карты-схемы концентрации загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух от автомобильного транспорта. Анализ полученных данных позволил сделать вывод о превышении установленных санитарно-гигиенических нормативов. Среди рассмотренного перечня эмиссий выявлена максимальная концентрация сажи, диоксида азота, оксида углерода, диоксида серы. Результаты расчетов сравнены с данными наблюдений, регистрируемыми на автоматических станциях контроля атмосферы Ангарска. Выявлены территории города, находящиеся в зоне повышенного атмосферного загрязнения, создаваемого автомобильным транспортом.

**Ключевые слова:** воздушный бассейн, автотранспорт, загрязняющие вещества, санитарно-гигиенические нормативы, повышенная концентрация, автоматические станции контроля атмосферы, карты-схемы.

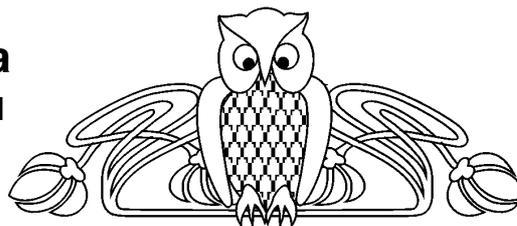
### Atmospheric Pollution of the Irkutsk Agglomeration by Automobile Emissions

S. A. Novikova, M. Y. Shikhovtsev

Svetlana A. Novikova, <https://orcid.org/0000-0003-2534-3379>, Irkutsk State University, 1 K. Marx St., Irkutsk 664003, Russia, novikovasveta41@mail.ru

Maxim Y. Shikhovtsev, <https://orcid.org/0000-0002-7177-907X>, Irkutsk State University, 1 K. Marx St., Irkutsk 664003, Russia, max97irk@yandex.ru

The aim of the work is to assess the contribution of vehicle emissions to air pollution of the Irkutsk agglomeration, on the example of a large industrial and transport city of Angarsk. In order to achieve the goal, emission calculations were carried out on the basis of field surveys of the composition and traffic intensity of vehicles at major intersections of Angarsk during peak hours. With the help of the program complex «Ecologist» calculations of concentrations of the main harmful substances emitted into the atmosphere by vehicles were carried out.



According to the results of the calculations, maps-schemes of concentrations of pollutants entering the air from road transport were created. The analysis of the received results allowed to draw a conclusion about exceeding of the established sanitary and hygienic standards. Among the considered list of emissions, the maximum concentrations of soot, nitrogen dioxide, carbon monoxide, sulfur dioxide were revealed. The results of the calculations have been compared with observed data recorded at the automatic monitoring stations of the atmosphere of the city of Angarsk. The territories of the city that are in the zone of increased atmospheric pollution created by auto transport were identified.

**Keywords:** air basin, vehicles, contaminants, sanitary and hygienic standards, increased concentrations, automatic stations for monitoring atmospheric, schematic maps.

DOI: <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2019-19-4-241-252>

### Введение

Одной из наиболее острых экологических проблем современных городов является загрязнение воздушного бассейна выбросами автомобильного транспорта и стационарных источников промышленных предприятий. Не является исключением и город Ангарск, входящий в состав Иркутской агломерации. Данная ситуация в Ангарске складывается по ряду причин: неудовлетворительное состояние дорожного покрытия, которое регулярно разрушается из-за высокой амплитуды температур, увеличение транспортных потоков, несоответствие транспортных средств экологическим требованиям, отсутствие подземных парковок, узкие улицы, загруженные припаркованными автомобилями в течение суток. Все вышеперечисленное ведет к недостаточной пропускной способности автомагистралей и, как следствие, возникновению пробок, что, в свою очередь, приводит к часто повторяющимся циклам торможения и начала движения автомобиля. Как известно, во время работы автотранспортных средств на холостом ходу выбросы загрязняющих веществ увеличиваются в среднем в 6 раз по сравнению с выбросами от движущихся автомобилей.

В выхлопных газах содержится огромный спектр веществ, многие из которых являются весьма токсичными и канцерогенными. В настоящее время загрязнение компонентов окружающей среды (воздуха, воды, почвы) химическими соединениями может рассматриваться как «бомба замедленного действия», которая угрожает среде обитания человека и стабильности биосферы в целом. Попадая в атмосферу из низкорасположен-



ных выхлопных труб, эмиссии рассеиваются на уровне дыхания людей. Повышенная концентрация загрязняющих веществ в атмосфере оказывает негативное влияние на здоровье людей, проживающих вблизи автомагистралей. Суммарное действие неблагоприятных факторов физической и химической природы может привести не только к заболеваниям отдельных систем организма человека, но и к сокращению продолжительности его жизни.

### Объект исследования

Ангарск – город Восточной Сибири – с прилегающими населенными пунктами образует Ангарский городской округ. Он расположен в южной, наиболее освоенной и экономически развитой части Иркутской области. Город назван в честь р. Ангары. При оценке состояния атмосферного воздуха на территории г. Ангарска необходимо учитывать как физико-географические и климатические особенности территории, так и многообразие источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. В г. Ангарске холодно-умеренный климат с дождливым летом и достаточно сухой зимой. По классификации климатов Кеппена – влажный континентальный климат с теплым летом и очень холодной зимой. Среднегодовая температура составляет  $-0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , в год выпадает около 485 мм осадков, на май–август их приходится порядка 64%. Средние многолетние значения метеорологических характеристик, рассчитанных за период 1984–2009 гг. по данным метеорологической станции г. Ангарска, представлены в табл. 1. Роза ветров исследуемой территории приведена на рис. 1.

Таблица 1

#### Метеорологические параметры территории г. Ангарска

Наименование характеристик	Величина
Коэффициент А, зависящий от температурной стратификации атмосферы	200
Средняя максимальная температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$ :	
жаркого месяца года	25,0
холодного месяца года	-21,0
Скорость ветра, вероятность превышения которой 5%, м/с	4
Штиль	17
Коэффициент рельефа местности	1

Примечание. Коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности на рассеивание примесей в воздухе в районе ТЭЦ-9, расположенной в г. Ангарске, рассчитан для максимальной высоты источника выбросов 120 м.

Тенденции развития Ангарска проявляются прежде всего в расширении городской застройки, интенсивном росте пригородов в направлении радиальных межгородских связей, усложнении

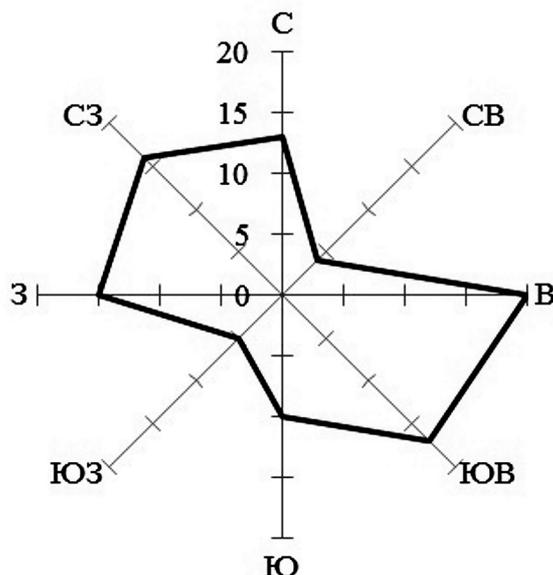


Рис. 1. Роза ветров исследуемой территории

функционального зонирования территории, росте индустриально-производственных и коммунально-складских зон, что неизбежно сопровождается негативными изменениями окружающей природной среды. По территории Ангарского района проходят Транссибирская магистраль и федеральная трасса М-53 «Байкал», нефтепроводы «Омск-Иркутск» и «Красноярск-Иркутск», а также этиленопровод «Ангарск-Саянск». Функционирует продуктопровод «Ангарск-Иркутск», по которому поставляют авиационный керосин с Ангарской нефтехимической компании (АНХК) в АО «Международный Аэропорт Иркутск». Что касается транспортной инфраструктуры города, то общая площадь улично-дорожной сети составляет 2527,2 тыс.  $\text{м}^2$ . Пассажирские автобусы перевозят до 85 % пассажиров.

По состоянию воздушной среды г. Ангарск входит в список 45 городов России с высоким уровнем загрязнения атмосферы [1]. Для источников загрязнения атмосферы на территории города характерны большие валовые выбросы продуктов сжигания топлива и значительная приземная концентрация этих веществ [2]. Кроме того, в вечернее и ночное время суток в черте г. Ангарска и его окрестностях регулярно проводятся несогласованные с администрацией соревнования среди любителей дрифта, которые также вносят свой вклад в экологическое состояние города. Так, по данным государственных докладов о состоянии окружающей среды [3–19], за период с 2000 по 2016 г. выбросы загрязняющих веществ от автотранспорта увеличились с 25,5 до 46,1 тыс. т, что вывело Ангарск на второе место по количеству выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта среди городов Иркутской агломерации с наибольшим средним загрязнением атмосферы.



Анализ значений фоновой концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе г. Ангарска, регистрируемых Иркутским центром по мониторингу загрязнения окружающей среды (ЦМС) (табл. 2), позволил выявить превышение максимальной разовой предельно допустимой концентрации (ПДК<sub>мр</sub>) следующих загрязняющих веществ: оксида углерода при скорости ветра 0,2 м/с в 1,17 раз и при скорости ветра 3 м/с в среднем в 1,3 раза, формальдегида в 7,5 раз, бенз(а)пирена в 10,2 раза. Более того, выявлено превышение самых жестких санитарно-гигиенических нормативов – среднесуточной предельно допустимой концентрации (ПДК<sub>сс</sub>) взвешенного

вещества, оксида углерода в среднем в 1,3 раза, диоксида азота в 2,0 раза, формальдегида в 7,5 раз и бенз(а)пирена в 10,2 раза. На границе ПДК<sub>сс</sub> находится концентрация взвешенных веществ при восточном направлении ветра и скорости 3 м/с – превышение в 0,97 раз, диоксида серы при восточном, южном направлении ветра и скорости 3 м/с – в 0,98 раз, аммиака при скорости ветра 0,2 м/с – в 0,78 раз, при восточном, северном и западном направлении ветра и скорости 3 м/с – в 0,70, 0,83, 0,88 раз соответственно, фенола при скорости ветра 0,2 м/с – в 1,0 раз, при северном и западном направлении ветра и скорости 3 м/с – в 1,0 раз соответственно.

Таблица 2

Значение фоновой концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе г. Ангарска

Вредное вещество	Норматив, мг/м <sup>3</sup>		Значение концентрации, мг/м <sup>3</sup>					Средние
	ПДК <sub>мр</sub>	ПДК <sub>сс</sub>	При скорости 0,2 м/с	При скорости ветра 3 м/с и направлении				
				С	В	Ю	З	
Взвешенное вещество	0,5	0,15	0,228	0,167	0,146	0,276	0,167	0,197
Диоксид серы	0,5	0,05	0,020	–	0,049	0,049	–	0,039
Оксид углерода	3,0	3,0	3,500	4,200	3,600	3,600	3,500	3,680
Диоксид азота	0,2	0,04	0,085	0,075	0,074	0,074	0,075	0,077
Сероводород	0,008	–	0,004	0,004	0,004	0,004	0,003	0,004
Аммиак	0,2	0,04	0,031	0,033	0,028	0,044	0,035	0,034
Формальдегид	0,003	0,003	0,022	0,022	0,022	0,022	0,024	0,022
Фенол	0,01	0,003	0,003	0,003	0,004	0,004	0,003	0,003
Свинец и оксид свинца	0,001	0,0003	6·10 <sup>-5</sup>	6·10 <sup>-5</sup>	6·10 <sup>-5</sup>	6·10 <sup>-5</sup>	6·10 <sup>-5</sup>	6·10 <sup>-5</sup>
Бенз(а)пирен	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-6</sup>	10,2·10 <sup>-6</sup>	10,2·10 <sup>-6</sup>	10,2·10 <sup>-6</sup>	10,2·10 <sup>-6</sup>	10,2·10 <sup>-6</sup>	10,2·10 <sup>-6</sup>

Примечание. ПДК<sub>мр</sub> и ПДК<sub>сс</sub> – максимально разовая и средняя суточная предельно-допустимая концентрация загрязняющих веществ в воздухе населенных мест соответственно; «-» – значения не установлены; С – северное, В – восточное, Ю – южное, З – западное направление ветра соответственно.

### Методы исследования

Как известно, измерение уровня загрязнения атмосферного воздуха основными загрязняющими веществами производится на автоматических станциях контроля атмосферы (АСК-А). На АСК-А осуществляются контроль основных метеорологических параметров и передача по радиоканалу полученных оперативных данных в центр сбора и обработки информации. В настоящее время в г. Ангарске расположено две АСК-А: № 3 на ул. Ворошилова и № 4 на ул. Московская, входящие в сеть наблюдений Иркутского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (УГМС) (рис. 2). Газоаналитическое оборудование экологических постов г. Ангарска дает возможность измерения концентрации следующих ингредиентов: диоксида серы (SO<sub>2</sub>), сероводорода (H<sub>2</sub>S), оксида азота (NO, NO<sub>2</sub>), аммиака (NH<sub>3</sub>), оксида углерода (CO), озона (O<sub>3</sub>), метана (CH<sub>4</sub>), суммы углеводородов без метана (C<sub>2</sub>-C<sub>12</sub>), взвешенных частиц (пыль) –

PM10, PM2,5. Регистрация данных происходит в непрерывном режиме каждые 20 минут для определения среднесуточной концентрации.

Так, на первом этапе исследования проведена оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха г. Ангарска. С помощью методов математической статистики обработаны данные о выбросах загрязняющих веществ и метеорологических параметрах за период с 2014 по 2016 г., регистрируемые на АСК-А № 3 и № 4. Кроме того, были рассчитаны коэффициенты корреляции между концентрацией таких загрязняющих веществ, как оксиды углерода и азота, диоксиды серы и азота, сероводород и метеорологическими параметрами (температура и влажность воздуха, атмосферное давление, скорость и направление ветра) за рассматриваемый период (табл. 3).

На следующем этапе в рамках настоящего исследования проведены авторские натурные наблюдения с помощью видеозаписывающего устройства (видеокамеры) за составом и интенсивностью движения автотранспортных



Рис. 2. Карта расположения точек натуральных наблюдений и автоматических станций контроля атмосферы в г. Ангарске

Таблица 3

**Коэффициенты корреляции между выбросами загрязняющих веществ и метеорологическими параметрами, зафиксированными на АСК-А г. Ангарска**

№ 3 – ул. Ворошилова					
Концентрация загрязняющих веществ, мг/м <sup>3</sup>	Метеорологические параметры				
	<i>T</i> , °С	<i>H</i> , %	<i>P</i> , мм. рт. ст.	<i>V</i> , м/с	<i>N</i> , град.
Оксид углерода	-0,6000	0,4800	0,5500	-0,5200	0,1500
Оксид азота	-0,8500	0,4900	0,7900	-0,5500	0,3500
Диоксид азота	-0,6100	0,2600	0,4400	-0,2700	0,3300
Диоксид серы	-0,2700	-0,2400	0,2700	0,3400	0,5900
Сероводород	-0,0500	0,2000	0,0300	-0,0600	0,5900
№ 4 – ул. Московская					
Оксид углерода	-0,4450	0,5460	0,5070	-0,4440	-0,4970
Оксид азота	-0,7170	0,4680	0,7360	-0,4030	-0,7690
Диоксид азота	-0,8910	0,4460	0,7520	-0,2850	-0,8690
Диоксид серы	-0,0090	-0,2960	0,0570	0,2990	-0,0003
Сероводород	-0,3480	-0,0350	0,5310	-0,0750	-0,3820

Примечание. *T* – температура окружающей среды; *H* – влажность воздуха; *P* – атмосферное давление; *V* – скорость ветра; *N* – направление ветра.



средств (АТС) на 35 перекрестках г. Ангарска в 2014–2016 гг. (рис. 2). Обследуемые перекрестки выбирались в районах с интенсивным движением транспорта, на участках дорог, где часто разгоняются и тормозят автомобили и, как следствие, выбрасывается наибольшее количество эмиссий, а также в местах скопления вредных примесей за счет слабого рассеивания (кольцевые развязки, узкие участки улиц с многоэтажными зданиями).

Осредненные данные, полученные в ходе натурных наблюдений на перекрестках г. Ангарска, представлены в табл. 4. Натурные наблюдения велись за автомобилями трех категорий: легковые, грузовые, автобусы (маршрутные такси). Подсчет АТС, проходящих по выбранным участкам дорог и перекресткам, проводился в течение 20 минут в утренние, дневные и вечерние часы пик: 8.00–9.00, 12.00–13.00, 17.00–19.00 соответственно.

Таблица 4

Данные натурных наблюдений на перекрестках г. Ангарска

Участки дорог, перекрестки	Количество автотранспортных средств, единицы			
	Легковые	Грузовые	Автобусы	Всего
ул. Ворошилова – ул. Горького	940	52	56	1048
ул. Ворошилова – ул. Чайковского	983	67	65	1115
ул. Чайковского – Московский тракт	660	8	92	759
ул. Карла Маркса – ул. Чайковского	948	28	88	1064
ул. Карла Маркса – ул. Горького	748	5	148	901
ул. Карла Маркса – ул. Кирова	510	6	58	574
ул. Кирова – ул. Олега Кошевого	255	5	60	320
ул. Кирова – Московский тракт	467	15	47	530
ул. Олега Кошевого – ул. Сибирская	567	15	70	652
ул. Трудовых Резервов – ул. Чапаева – ул. Олега Кошевого	212	2	29	243
ул. Карла Маркса – Московский тракт	734	30	52	816
ул. Карла Маркса – ул. Декабристов (кольцевая развязка – выезд из г. Ангарска)	564	28	48	640
ул. Карла Маркса – ул. Ленина	533	0	113	646
ул. Ленина – ул. Героев Краснодона	691	14	44	750
ул. Московская – ул. Глинки	256	0	20	276
ул. Московская – ул. Горького	815	0	51	866
ул. Блудова – ул. Коминтерна – ул. Жилая	200	15	3	218
ул. Коминтерна – ул. Космонавтов (кольцевая развязка)	548	16	54	618
ул. Коминтерна – Ангарский проспект	800	10	100	910
Ангарский проспект – ул. Крупской	540	8	50	598
ул. Космонавтов – ул. Алешина	443	16	35	495
ул. Алешина – ул. Горького	557	33	57	647
Ангарский проспект – ул. Алешина	525	24	68	617
Ангарский проспект – ул. Декабристов (кольцевая развязка)	777	16	31	824
ул. Фридриха Энгельса – 181-й квартал – ул. Социалистическая – ул. Алешина	804	16	26	846
ул. Фестивальная – ул. Социалистическая	876	24	80	980
Ленинградский проспект – ул. Социалистическая	1060	40	66	1166
Ленинградский проспект – ул. Институтская – ул. Волгина	637	21	48	706
Ленинградский проспект – Ангарский проспект	832	5	91	928
ул. Иркутская – ул. Чкалова – ул. Восточная	599	11	72	681
ул. Зои Космодемьянской – ул. А. Матросова	206	8	16	231
ул. Набережная – ул. Московская	515	11	59	584
ул. 40 лет Победы – ул. Декабристов	250	12	20	282
ул. Первый промышленный массив	125	0	8	133
ул. Мичурина – ул. Чапаева	104	2	7	113



В качестве одного из методов использовалась стандартная методика определения выбросов автотранспорта для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферы городов [20], которая может применяться ко всем категориям АТС при эксплуатации в городских условиях. С использованием данных натуральных видеонаблюдений за составом и интенсивностью движения АТС по методике [20] проведен расчет выбросов от автотранспортных средств следующих загрязняющих веществ: оксида углерода (CO), диоксида азота (NO<sub>2</sub>), диоксида серы (SO<sub>2</sub>), сажи, формальдегида (CH<sub>2</sub>O), бенз (а) пирена (C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>), предельных углеводородов (СН).

Далее с помощью программы расчета загрязнения атмосферы «Эколог» (фирмы «Интеграл», г. Санкт-Петербург), базирующейся на методах расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе [21], был проведен расчет приземной концентрации загрязняющих веществ от автотранспортных средств, проходящих по выбранным перекресткам (см. рис. 2, табл. 4).

Нормы, предлагаемые в методиках, предназначены для расчета приземной концентрации в двухметровом слое над поверхностью земли, а также вертикального распределения концентрации. Ограничительными критериями концентрации в программном комплексе (ПК) «Эколог» являются ПДК<sub>мр</sub>, рассчитанные на 20–30-минутный интервал пребывания живых организмов в зоне атмосферного загрязнения. Однако это не является приемлемым для жилой (жилой) зоны, в связи с чем расчет концентрации загрязняющих веществ в настоящей статье проводился в сравнении с наиболее жесткими санитарно-гигиеническими нормативами – ПДК<sub>сс</sub>. В программе «Эколог» значения приземной концентрации в расчетных точках выдаются в долях ПДК. Поскольку все справочные данные в ПК являются редактируемыми, то при замене в справочнике значений ПДК<sub>мр</sub> на ПДК<sub>сс</sub> программа автоматически выполняет пересчет, выдавая значения в долях ПДК<sub>сс</sub>.

В качестве входной информации в программу «Эколог» использовались следующие параметры: выбросы загрязняющих веществ (г/с), предварительно рассчитанные по методике [21], координаты пространственного расположения выбранных участков автомагистралей, протяженность и ширина дорожного полотна, количество автотранспортных средств всех категорий, проходящих по участку дороги за фиксированный интервал времени (20 минут), метеорологические параметры исследуемой территории (коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы, определяющий условия горизонтального и вертикального рассеивания примесей в атмосферном воздухе (200), направление и скорость ветра), а также коэффициент учета рельефа местности (1).

В результате расчетов и статистической обработки данных было проведено сравнение значений концентрации, зарегистрированных на АСК-А г. Ангарска и полученных с помощью ПК «Эколог».

### Результаты исследования и их обсуждение

На первом этапе исследования опытным путем было установлено, что на распространение примесей от антропогенных источников оказывают влияние метеорологические условия территории. Так, коэффициенты корреляции между концентрацией загрязняющих веществ и некоторыми метеорологическими параметрами (влажностью – *H*, давлением – *P* и направлением ветра – *N*), зафиксированными на АСК-А № 3 (ул. Ворошилова), в подавляющем большинстве случаев положительные, что свидетельствует о прямой линейной зависимости между этими показателями. Корреляции между концентрацией загрязняющих веществ, температурой (*T*) и скоростью ветра (*V*) отрицательные, следовательно, между этими показателями прослеживается обратная линейная связь (см. табл. 3). Коэффициенты корреляции между концентрацией всех загрязняющих веществ, температурой атмосферного воздуха и скоростью ветра, зафиксированные на АСК-А № 4 (ул. Московская), отрицательные, что свидетельствует об отсутствии линейной зависимости между этими параметрами. Коэффициенты корреляции между концентрацией таких загрязняющих веществ, как оксид углерода, оксиды азота и влажностью воздуха положительные, между концентрацией остальных загрязняющих веществ и влажностью воздуха – отрицательные. Корреляции между концентрацией всех вредных веществ и атмосферным давлением положительные, следовательно, между этими показателями прослеживается прямая линейная связь. Коэффициенты корреляции между скоростью ветра и концентрацией всех эмиссий (кроме диоксида серы) отрицательные.

В результате статистической обработки данных, полученных с двух АСК-А г. Ангарска, установлено, что наибольшими коэффициентами корреляции, свидетельствующими о «сильных» прямых и обратных связях соответственно, характеризуются показатели концентрации оксидов азота и температуры воздуха (-0,8910, -0,8500, -0,7170), атмосферного давления (0,7360, 0,7520, 0,7900) и направления ветра (-0,8690, -0,7690).

«Заметными» прямыми и обратными связями характеризуются коэффициенты корреляции между такими показателями, как: диоксид азота, оксид углерода и температура воздуха (-0,6100, -0,6000 соответственно); оксид углерода и влажность воздуха (0,5460); оксид углерода, сероводород и атмосферное давление (0,5070, 0,5500, 0,5310); оксид азота, оксид углерода и скорость ветра (-0,5500, -0,5200); диоксид серы, сероводород и направление ветра (0,5900, 0,5900).



«Умеренными» прямыми и обратными связями характеризуются коэффициенты корреляции между такими показателями, как: оксид углерода, сероводород и температура воздуха (-0,4450, -0,3480 соответственно); оксид углерода, оксиды азота и влажность воздуха (0,4800, 0,4900, 0,4680, 0,4460); диоксид азота и атмосферное давление (0,4400); оксид углерода, оксид азота, диоксид серы и скорость ветра (-0,4440, -0,4030, 0,3400); оксид углерода, сероводород, оксиды азота и направление ветра (-0,4970, -0,3820, 0,3300, 0,3500).

«Слабыми» прямыми и обратными связями характеризуются коэффициенты корреляции между такими показателями, как: диоксид серы, сероводород и температура воздуха (-0,2700, -0,0090, -0,0500 соответственно); диоксид серы, сероводород, диоксид азота и влажность воздуха (-0,2960, -0,2400, -0,0350, 0,2000, 0,2600); сероводород, диоксид серы и атмосферное давление (0,0300, 0,0570, 0,2700); диоксид азота, сероводород, диоксид серы и скорость ветра (-0,2700, -0,2850, -0,0600, 0,2990); диоксид серы, оксид углерода и направление ветра (-0,0003, 0,1500) (см. табл. 3).

Далее был проведен анализ средних показателей концентрации вредных веществ, зафиксированных на АСК-А г. Ангарска (ул. Ворошилова и ул. Московская) за период 2014–2016 гг. Максимальная концентрация оксида углерода, регистрируемая на обеих АСК-А г. Ангарска, наблюдалась в осенне-зимние месяцы (ноябрь–февраль), минимальная – в летние месяцы (июнь–июль). Превышения ПДК<sub>сс</sub> (3 мг/м<sup>3</sup>) и ПДК<sub>мр</sub> (5 мг/м<sup>3</sup>) данного вещества за весь период наблюдений не прослеживалось.

Превышение ПДК<sub>сс</sub> (0,04 мг/м<sup>3</sup>) диоксида азота, регистрируемое на АСК-А № 3 (ул. Ворошилова), наблюдалось на протяжении всего рассматриваемого периода в 1,8 раза в 2014–2015 гг.

и 1,4 раза в 2016 г. (рис. 3). Наибольшие значения средних показателей концентрации диоксида азота, регистрируемые на АСК-А № 4 (ул. Московская), наблюдались в 2016 г. (январь–март), наименьшие – в 2014 г. (июль–август). Превышение ПДК<sub>сс</sub> данного вещества в 1,03 раза выявлено в декабре 2014 г., в 1,3 раза – декабре–марте 2015 г. (в ноябре 2015 г. концентрация была на границе ПДК<sub>сс</sub>) и в 1,4 раза январь–марте 2016 г. (рис. 4). Превышение ПДК<sub>мр</sub> диоксида азота (0,2 мг/м<sup>3</sup>) на обеих станциях не зафиксировано.

Превышение ПДК<sub>сс</sub> диоксида серы (0,05 мг/м<sup>3</sup>) в среднем в 1,5 раза, регистрируемое на АСК № 3 (ул. Ворошилова), наблюдалось в феврале–апреле, июне и октябре 2015 г., в 1,2 раза – феврале–марте 2016 г. (рис. 5). Превышение ПДК<sub>сс</sub> диоксида серы в среднем в 1,3 раза, регистрируемое на АСК-А № 4 (ул. Московская), наблюдалось в феврале–марте, июле, сентябре и октябре 2015 г. (рис. 6). Превышения ПДК<sub>мр</sub> (0,5 мг/м<sup>3</sup>) загрязняющего вещества на обеих станциях выявлено не было.

Карта-схема распределения концентрации сажи на территории г. Ангарска в часы пик представлена на рис. 7. Для лучшей визуализации полученных результатов изолинии расчетной концентрации загрязняющих веществ были совмещены с картами, взятыми из программы «Quantum GIS» («QGIS»). Максимальная концентрация сажи в г. Ангарске в часы пик составляет 9,8 ПДК<sub>сс</sub> (ПДК<sub>сс</sub> = 0,05 мг/м<sup>3</sup>) (см. рис. 7). Наибольшая концентрация диоксида азота, создаваемая автотранспортом на исследуемых перекрестках, равна 5,7 ПДК<sub>сс</sub> (рис. 8). Максимальная концентрация оксида углерода составляет 4,5 ПДК<sub>сс</sub> (рис. 9). Наибольшая концентрация диоксида серы, создаваемая автотранспортом на исследуемых перекрестках г. Ангарска в часы пик, равна 3,4 ПДК<sub>сс</sub> (рис. 10).

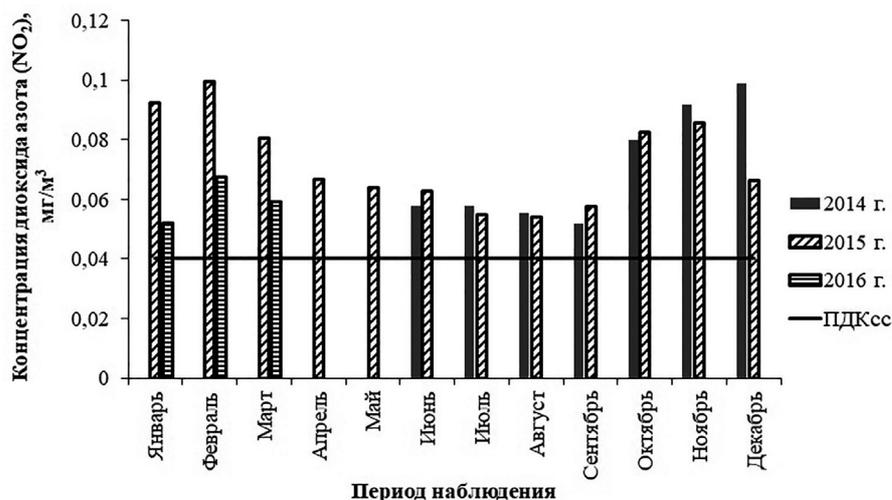


Рис. 3. Динамика средних показателей концентрации диоксида азота, зарегистрированных на АСК-А № 3 (ул. Ворошилова) г. Ангарска в 2014–2016 гг.

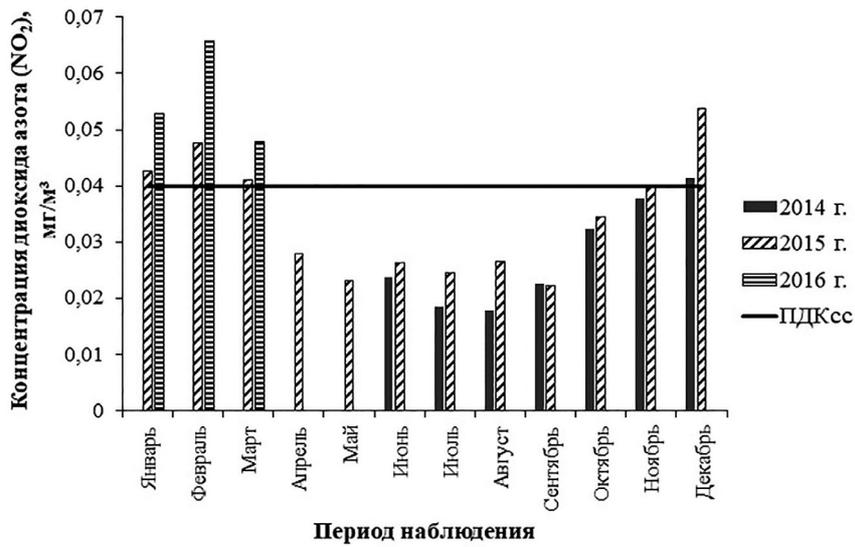


Рис. 4. Динамика средних показателей концентрации диоксида азота, зарегистрированных на АСК-А № 4 (ул. Московская) г. Ангарска в 2014–2016 гг.

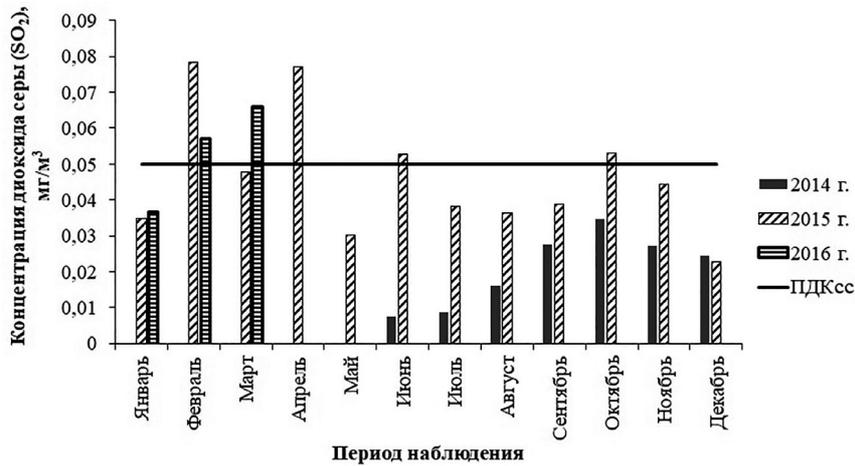


Рис. 5. Динамика средних показателей концентрации диоксида серы, зарегистрированных на АСК-А № 3 (ул. Ворошилова) г. Ангарска в 2014–2016 гг.

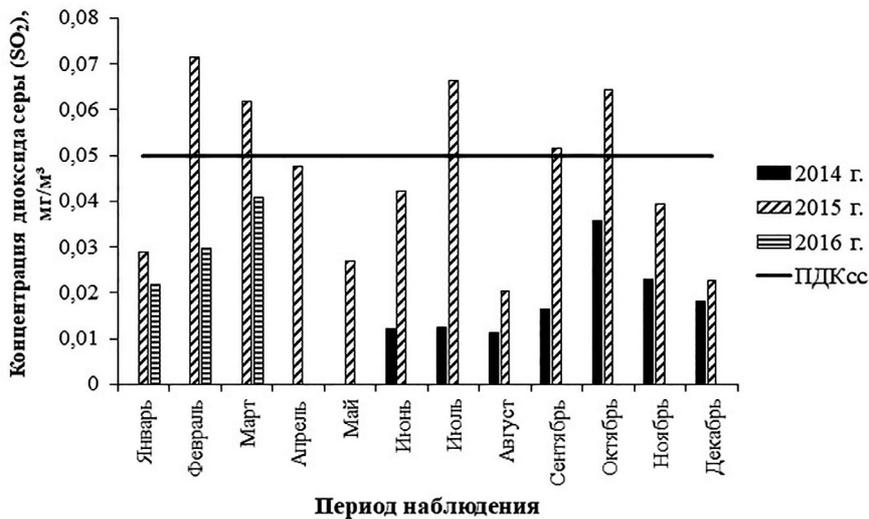


Рис. 6. Динамика средних показателей концентрации диоксида серы, зарегистрированных на АСК-А № 4 (ул. Московская) г. Ангарска в 2014–2016 гг.

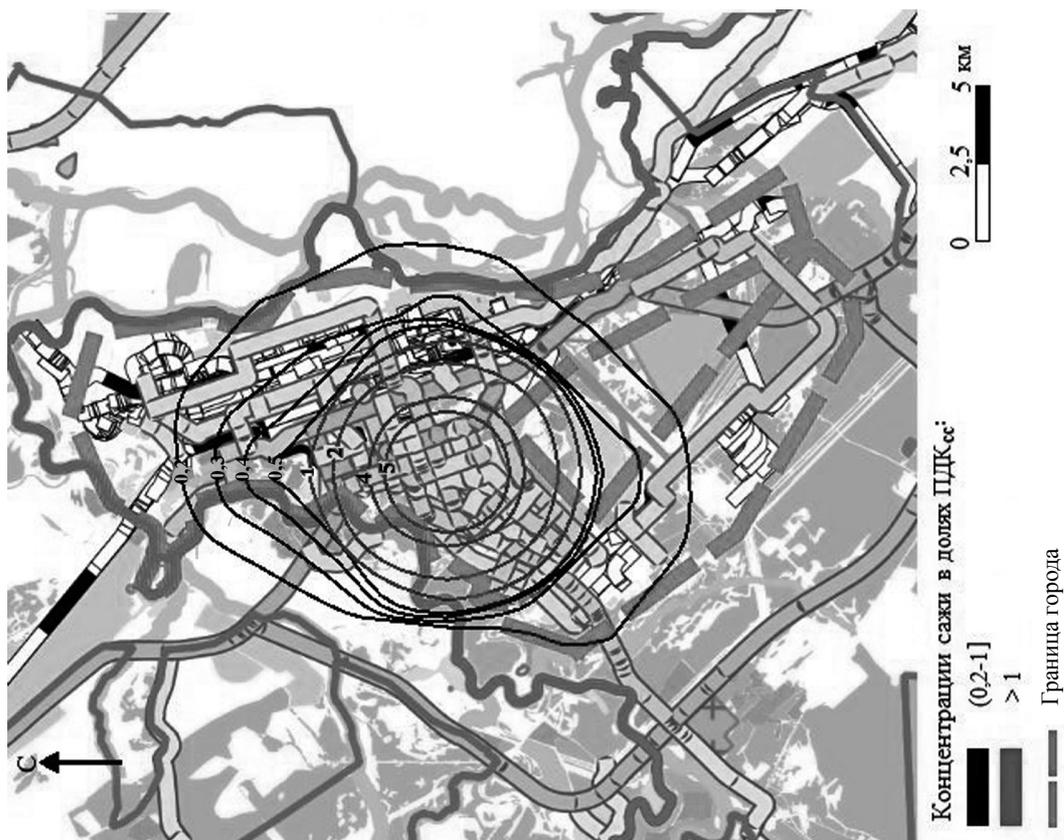


Рис. 8. Карта-схема распределения концентрации диоксида азота на территории г. Ангарска в часы пик

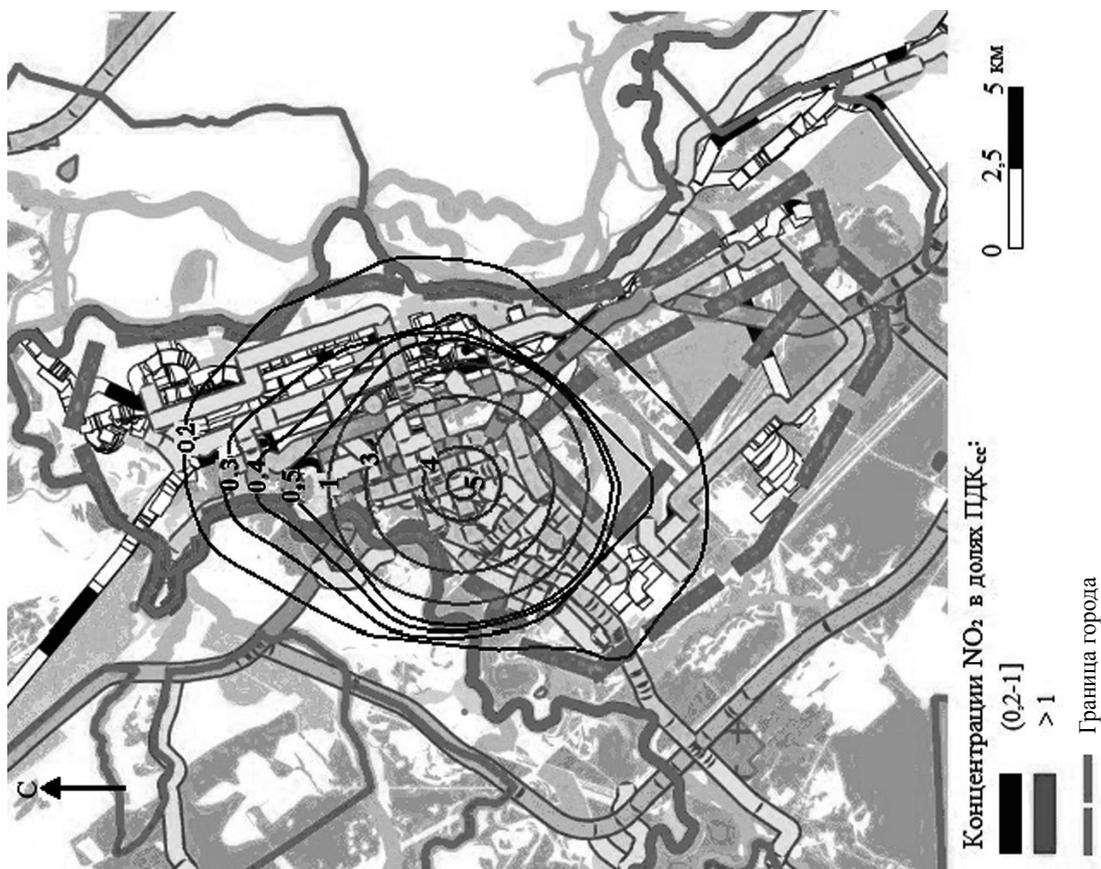


Рис. 7. Карта-схема распределения концентрации сажи на территории г. Ангарска в часы пик

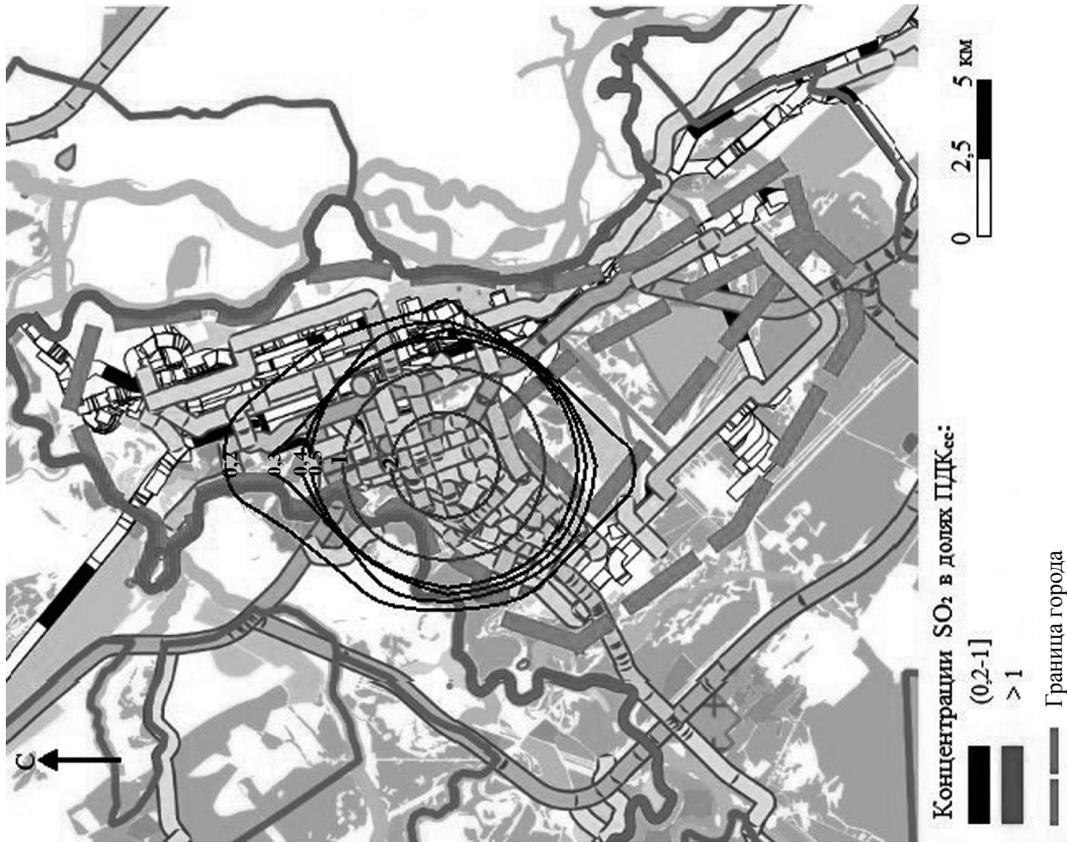


Рис. 10. Карта-схема распределения концентрации диоксида серы на территории г. Ангарска в часы пик

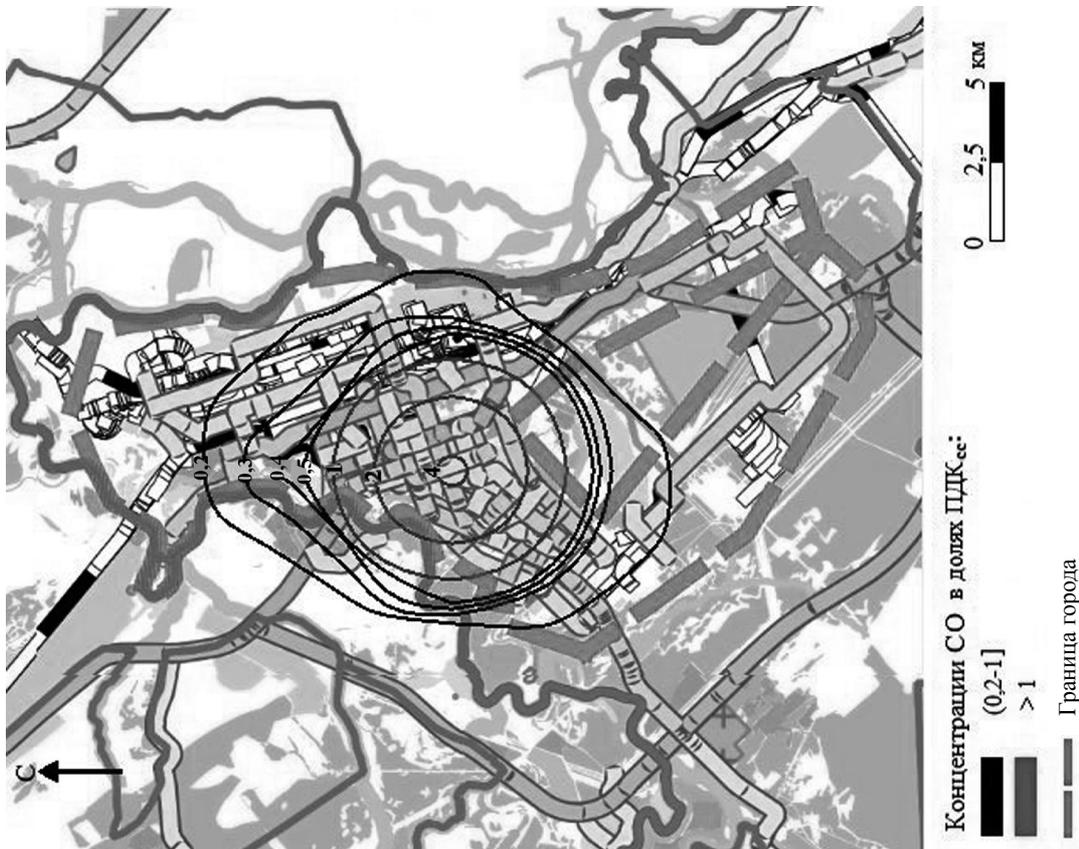


Рис. 9. Карта-схема распределения концентрации оксида углерода на территории г. Ангарска в часы пик



## Заключение

Автоматизированные средства наблюдений предоставляют широкие возможности для анализа и интерпретации данных наблюдений, проведения исследований по выявлению закономерностей формирования уровня загрязнения атмосферного воздуха в промышленно-транспортных городах. В актуальной информации о состоянии и загрязнении атмосферного воздуха заинтересованы местные органы власти и население Ангарска.

В ходе натуральных наблюдений за составом и интенсивностью движения автотранспортных средств на 35 крупных перекрестках Ангарска в часы пик выявлено, что среди всех групп автотранспортных средств легковые автомобили являются основным источником выбросов таких загрязняющих веществ, как оксид углерода, диоксид серы, формальдегид, бенз(а)пирен. Это обусловлено количественным преобладанием легковых автомобилей в транспортном потоке.

Результаты проведенных расчетов концентрации загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу от автотранспорта в г. Ангарске, с помощью программного комплекса «Эколог» показали, что на территории города наблюдается превышение в 3–10 раз самых жестких санитарно-гигиенических нормативов – ПДК<sub>сс</sub>. Так, в зоне повышенной концентрации сажи находится 34,6% площади исследуемой территории, диоксида азота – 25,2%, оксида углерода – 23,3%, диоксида серы – 20,3%, что создает потенциальную опасность для здоровья населения города.

Сравнение результатов обработки данных авторских натуральных наблюдений и данных, регистрируемых на экологических постах г. Ангарска (АСК-А), свидетельствует об «умеренной» корреляции этих показателей. Так, концентрация загрязняющих веществ, зафиксированная на АСК-А, превышает установленные значения ПДК<sub>сс</sub> в среднем в 1,5 раза, согласно же авторским расчетам и натурным наблюдениям – в 5,8 раза. Статистическая обработка данных натуральных обследований позволила сделать выводы о степени однородности регистрируемых показателей. Однако параметры, фиксируемые на АСК-А, являются интегральной характеристикой уровня загрязнения атмосферы, поскольку включают в себя выбросы от стационарных источников промышленных предприятий, автомобильного транспорта, а также дальний перенос примесей. Необходимо также отметить, что посты наблюдения в г. Ангарске расположены не вполне рационально, так как размещены на закрытых участках (на узких улицах, вблизи высоких зданий, под кронами деревьев), что может сказываться на показателях как в сторону занижения реального уровня загрязнения из-за поглощения газов густой зеленью, так и в сторону завышения из-за застоя воздуха и скопления вредных веществ вблизи строений.

Кроме того, в результате проведенного исследования установлено, что при низких скоростях ветра (штиле) и температурах воздуха создаются неблагоприятные условия для рассеивания примесей в атмосферном воздухе Ангарска. В связи с этим необходимо разрабатывать комплекс мероприятий, направленных на снижение выбросов вредных веществ в атмосферу города. Таким образом, на основании вышеизложенного можно дать некоторые рекомендации по улучшению экологической обстановки г. Ангарска, сложившейся в результате загрязнения выбросами автотранспорта:

- обновить автомобильный парк;
- улучшить дорожную инфраструктуру;
- повысить уровень технического обслуживания и ремонта автотранспортных средств;
- организовать регулярный контроль за техническим состоянием автотранспорта;
- провести строительство подземных парковок.

## Библиографический список

1. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2016 году : гос. доклад. М. : Минприроды России ; НИА-Природа, 2017. 760 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.priroda.ru/lib/detail.php?ID=11977> (дата обращения: 15.03.2019).
2. ГОСТ Р 52160–2003, 2005. Национальный стандарт Российской Федерации. «Автотранспортные средства, оснащенные двигателями с воспламенением от сжатия. Дымность отработавших газов. Нормы и методы контроля при оценке технического состояния» : утв. постановлением Госстандарта РФ 18.12.2003 [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200034748> (дата обращения: 15.03.2019).
3. О состоянии и об охране окружающей среды в Российской Федерации в 2000 году : гос. доклад. М. : Минприроды России, 2001. 288 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.priroda.ru/lib/detail.php?ID=5515> (дата обращения: 15.03.2019).
4. О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2001 году : гос. доклад. Иркутск : Министерство природных ресурсов и экологии Иркутской области, 2002. 443 с.
5. О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2002 году : гос. доклад. Иркутск : Министерство природных ресурсов и экологии Иркутской области, 2003. 470 с.
6. О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2003 году : гос. доклад. Иркутск : Министерство природных ресурсов и экологии Иркутской области, 2004. 487 с.
7. О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2004 году : гос. доклад. Иркутск : Министерство природных ресурсов и экологии Иркутской области, 2005. 480 с.
8. О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2005 году : гос. доклад. Иркутск : Ми-



нистерство природных ресурсов и экологии Иркутской области, 2006. 493 с.

9. О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2006 году : гос. доклад. Иркутск : Министерство природных ресурсов и экологии Иркутской области, 2007. 479 с.

10. О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2007 году : гос. доклад. Иркутск : Министерство природных ресурсов и экологии Иркутской области, 2008. 497 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://irkobl.ru/region/ecology/doklad/> (дата обращения: 15.03.2019).

11. О состоянии и об охране окружающей среды в Иркутской области в 2008 году : гос. доклад. Иркутск : Министерство природных ресурсов и экологии Иркутской области, 2009. 409 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://irkobl.ru/sites/ecology/picture> (дата обращения: 15.03.2019).

12. О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2009 году : гос. доклад. Иркутск : Министерство природных ресурсов и экологии Иркутской области, 2010. 582 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://irkobl.ru/sites/ecology/picture> (дата обращения: 15.03.2019).

13. О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2010 году : гос. доклад. Иркутск : Форвард, 2011. 400 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://irkobl.ru/sites/ecology/picture> (дата обращения: 15.03.2019).

14. О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2011 году : гос. доклад. Иркутск : Форвард, 2012. 400 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://irkobl.ru/sites/ecology/picture> (дата обращения: 15.03.2019).

15. О состоянии и об охране окружающей среды Иркут-

ской области в 2012 году : гос. доклад. Иркутск : Издательство Института географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2013. 337 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://irkobl.ru/sites/ecology/picture> (дата обращения: 15.03.2019).

16. О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2013 году : гос. доклад. Иркутск : Министерство природных ресурсов и экологии Иркутской области, 2014 [Электронный ресурс]. URL: <http://irkobl.ru/sites/ecology/picture> (дата обращения: 15.03.2019).

17. О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2014 году : гос. доклад. Иркутск : Форвард, 2015. 328 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://irkobl.ru/sites/ecology/picture> (дата обращения: 15.03.2019).

18. О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2015 году : гос. доклад. Иркутск : Время странствий, 2016. 316 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://irkobl.ru/sites/ecology/picture> (дата обращения: 15.03.2019).

19. О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2016 году : гос. доклад. Иркутск : Мегатрип, 2017. 274 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://irkobl.ru/sites/ecology/picture> (дата обращения: 15.03.2019).

20. Методика определения выбросов автотранспорта для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферы городов. СПб. : ОАО НИИ Атмосфера, 2010. 15 с.

21. Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе : приказ от 6 июня 2017 г. № 273. М. : Министерство природных ресурсов и экологии РФ, 2017. 80 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456074826> (дата обращения: 15.03.2019).

---

#### Образец для цитирования:

Новикова С. А., Шиховцев М. Ю. Загрязнение атмосферного воздуха Иркутской агломерации выбросами автомобильного транспорта // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2019. Т. 19, вып. 4. С. 241–252. DOI: <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2019-19-4-241-252>

#### Cite this article as:

Novikova S. A., Shikhovtsev M. Y. Atmospheric Pollution of the Irkutsk Agglomeration by Automobile Emissions. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Earth Sciences*, 2019, vol. 19, iss. 4, pp. 241–252 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2019-19-4-241-252>

---