

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОГО БАСЕЙНА АВТОТРАНСПОРТОМ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРЫ ГОРОДА ВОРОНЕЖА

Л. М. Акимов, А. Б. Якушев, С. А. Куролап

*Воронежский государственный университет, Россия
ООО «Центр-Дорсервис», Россия*

Поступила в редакцию 10 июня 2011 г.

Аннотация: Проведена экологическая оценка состояния воздушного бассейна придорожной полосы г. Воронежа в зависимости от состояния атмосферы. На основе инструментальных исследований и расчетно-аналитических методов определен уровень загрязнения воздушного бассейна автотранспортом в условиях различной рассеивающей способности атмосферы, обусловленной изменением вертикального температурного градиента.

Ключевые слова: атмосферный воздух, загрязнение, экологическая оценка, состояние атмосферы.

Abstract: An ecological assessment of the air basin of the Voronezh roadside has been carried out, depending on atmospheric conditions. On the basis of instrumental studies and computational and analytical methods the level of air pollution by road transport in conditions of different scattering power of the atmosphere, due to changes in vertical temperature gradient has been specified.

Key words: air pollution, environmental assessment, state of the atmosphere.

Одним из постоянно растущих источников негативного воздействия на городскую среду является автотранспорт. В отличие от промышленных объектов, автомобильный транспорт является подвижным источником токсичных выбросов в приземный слой атмосферного воздуха, что представляет реальную угрозу здоровью человека и среде обитания. Вклад автотранспорта в эмиссию загрязняющих веществ на территории крупных городов, как правило, превышает 70 % [4].

В связи с ростом автотранспортного потока улично-дорожная сеть городов не справляется с потоком автотранспорта как на магистральных, так и на объездных дорогах. Типичным примером такой ситуации служит г. Воронеж. По данным ГИБДД г. Воронежа городской парк автомобилей за последнее десятилетие значительно увеличился и на 1 января 2010 года составил 255929 автомобилей (удельный вес автомобилей частных лиц составляет 88,14 %), в то время как в 2006 году парк автотранспорта насчитывал 205675 автомашин.

Эмиссия загрязняющих веществ в атмосферный воздух от автотранспортных средств за 2009 год составила 118220,5 тонн (более 90 % от валового выброса в атмосферу всех загрязняющих веществ в г. Воронеже) [1].

По данным Управления Роспотребнадзора по Воронежской области и Воронежского областного центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды в последние годы все чаще фиксируется увеличение содержания вредных веществ в приземном слое атмосферы, причем особенно опасно превышение загрязняющих веществ в самые теплые месяцы года [6].

Известно, что изменение концентраций в приземном слое воздуха зависит не только от антропогенного воздействия, но и от свойств воздушной массы. Мы провели исследование динамики уровня загрязняющих веществ в атмосферном воздухе г. Воронежа в зависимости от состояния атмосферы.

Для экологической оценки концентрации контаминантов в приземном слое атмосферы вдоль

улично-дорожной сети типа «2Б» г. Воронежа были последовательно проведены следующие операции:

1) отобраны пробы воздуха утром, днем и вечером и определены осредненные приземные концентрации основных контаминантов (формальдегид, диоксид азота, сернистый ангидрид, оксид углерода) при помощи газоанализатора универсального «ГАНК-4А» в соответствии с действующими нормативными документами;

2) проведена обработка данных температурно-ветрового зондирования атмосферы аэрологической станции 34122 Воронеж за сроки 00UTC и 12UTC единого Гринвичского времени. Учитывая третий часовой пояс Воронежа, зондирование осуществлялось в 03.00 и 15.00 часов местного времени;

3) проведен анализ концентрации контаминантов в приземном слое атмосферы, вдоль улично-дорожной сети типа «2Б» Воронежа при различных значениях вертикального температурного градиента и определены связи между уровнем загрязнения и состоянием атмосферы.

Анализ структуры и особенностей улично-дорожной сети Воронежа показал, что на территории Воронежа выделяется 14 категорий улично-дорожной сети, общая протяженность которой составляет 1278,4 км, а основным типом дорог является категория «2Б» с протяженностью 165,7 км (около 13 % всей улично-дорожной сети).

Улично-дорожная сеть типа «2Б» – это магистральные дороги с регулируемым движением. Их основное назначение – транспортная связь между жилыми, промышленными районами, центром города и центрами планировочных районов. Они обеспечивают связь с внешними автомобильными дорогами. Пересечения с магистральными улицами и дорогами – как правило, находятся в одном уровне. Расчетная скорость движения составляет 80 км/ч, ширина полосы движения – 3,5 м и число полос движения – 4-8 штук.

Осредненные концентрации контаминантов в приземном слое атмосферы на основных улицах Воронежа, полученные по результатам многолетнего мониторинга ООО «Центр-Дорсервис», представлены в таблице 1. Для точности исследования замеры проводились в разных районах города по категории дорог «2Б». В графе «1» представлены результаты многолетних наблюдений на Московском проспекте в Коминтерновском районе, в графе «2» – на ул. 20 лет Октября в Ленинском районе, в графе «3» – на ул. Героев Стратосферы в Ле-

вобережном районе. Результаты за 2010 г. получены авторами лично.

Для удобства анализа после каждого контаминанта даны превышения значений среднесуточных предельно-допустимых концентраций (ПДКс.с). Для диоксида азота (NO_2) ПДКс.с составляет 0,04 мг/м³, для диоксида серы (SO_2) – 0,05 мг/м³, для оксида углерода (CO) – 3,0 мг/м³, формальдегида (CH_2O) – 0,003 мг/м³ [3]. Данное сопоставление дает наглядную картину степени загрязненности приземного слоя атмосферы в Воронеже.

Из анализа таблицы 1 следует, что наибольшие значения загрязнения наблюдаются в Левобережном районе и на Московском проспекте. Наименьшие значения контаминантов наблюдались на ул. 20 лет Октября в Ленинском районе. ПДКс.с. изучаемых контаминантов в Воронеже изменялись в широких пределах: для NO_2 – от 0,5 ПДКс.с. (2009 г.) до 3,5 ПДКс.с. (2008 г.); SO_2 – от 0,4 ПДКс.с. (2009 г.) до 18,2 ПДКс.с. (2008 г.); CO – от 0,46 ПДКс.с. (2009 г.) до 1,42 ПДКс.с. (2010 г.) и CH_2O – от 0,33 ПДКс.с. (2009 г.) до 16,67 ПДКс.с. (2010 г.).

Состояние атмосферы оценивалось по условиям вертикального перемещения воздуха, которое определялось по расчетному коэффициенту – вертикальному температурному градиенту. Данный градиент рассчитывается на основании разницы температур между высотами по формуле (1):

$$g = \frac{T_1 - T_2}{z_2 - z_1}, \quad (1)$$

где T_1 – температура воздуха нижележащего слоя; T_2 – температура воздуха вышележащего слоя атмосферы, на котором были произведены замеры метеорологическим зондом; z_1 – высота замера T_1 ; z_2 – высота замера T_2 .

По результатам расчетов в зависимости от знака вертикального температурного градиента рассматривались три состояния атмосферы: $g < 0^\circ\text{C}$ – конвекция; $g = 0^\circ\text{C}$ – изотермия; $g > 0^\circ\text{C}$ – инверсия. При конвекции наблюдается понижение температуры с высотой. Инверсия и изотермия являются задерживающими слоями атмосферы, так как при этих состояниях наблюдается рост или постоянство температуры с высотой. Когда наблюдается конвекция, вертикальные перемещения воздуха вместе с вредными веществами способствуют их рассеиванию и выносу загрязняющих веществ на более высокие слои атмосферы. Инверсии и изотермии температуры препятствуют вер-

Таблица 1

Результаты мониторинга приземного слоя атмосферы, мг/м³

Контаминанты	Годы мониторинга														
	2006			2007			2008			2009			2010		
NO ₂	0,05	0,08	0,10	0,07	0,04	0,13	0,14	0,03	0,03	0,08	0,02	0,07	0,06	0,06	0,04
NO ₂ / ПДК	1,25	2	2,5	1,75	1	3,25	3,5	0,75	0,75	2,0	0,5	1,75	1,5	1,5	1
SO ₂	0,09	0,15	0,11	0,05	0,06	0,13	0,14	0,10	0,91	0,08	0,02	0,06	0,09	0,09	0,52
SO ₂ / ПДК	1,8	3,0	2,2	1	1,2	2,6	2,8	2	18,2	1,6	0,4	1,2	1,8	1,8	10,4
CO	2,40	2,27	2,88	1,71	2,28	2,79	2,34	2,32	2,02	2,85	1,39	1,43	4,26	4,11	3,75
CO / ПДК	0,8	0,8	1,0	0,6	0,8	0,9	0,8	0,8	0,7	1,0	0,5	0,5	1,4	1,4	1,3
CH ₂ O	0,02	0,008	0,008	0,010	0,006	0,016	0,010	0,006	0,007	0,020	0,002	0,001	0,050	0,042	0,014
CH ₂ O / ПДК	6,7	2,7	2,7	3,3	2,0	5,3	3,3	2,0	2,3	6,7	0,7	0,3	16,7	14,0	4,7

Экологическая оценка загрязнения воздушного бассейна автотранспортом в зависимости от состояния атмосферы города Воронежа



Рис. 1. Распределение различных состояний атмосферы за исследуемый период

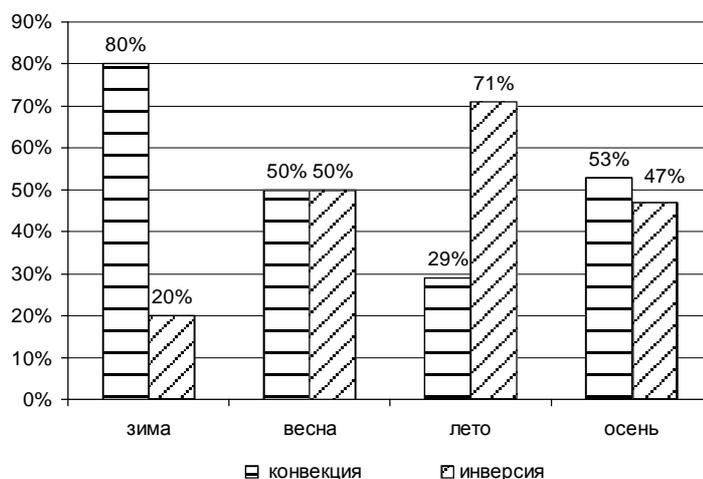


Рис. 2. Сезонное распределение соотношения состояний атмосферы (конвекция/инверсия)

тикальному перемещению воздуха и способствуют застаиванию воздуха в приземном слое, что ведет к накоплению загрязняющих веществ в воздухе. Процентное распределение различных состояний атмосферы за исследуемый период представлено на рис. 1.

Из рис. 1 видно, что за исследуемый период в более половины случаев (53%) в г. Воронеже наблюдалась конвекция. Практически каждый третий случай (35%) соответствовал ночной инверсии, которая разрушалась в дневное время. В 8% случаев наблюдалась ситуация, когда в дневное время образовывалась инверсия, что в основном связано с влиянием теплых атмосферных фронтов. Случаи с инверсиями в Воронеже редки и наблюдались лишь в 3% случаев.

Процентное распределение различных состояний атмосферы по сезонам года представлено на рис. 2.

Рис. 2 показывает, что в распределении различных состояний атмосферы наблюдается выраженный годовой ход. В зимнее время года в 80% случаев наблюдаются конвективные (восходящие)

движения воздуха, способствующие перемешиванию по высотам и уменьшению концентрации загрязняющих веществ у поверхности Земли. Инверсии зимой (рост температуры с высотой) за исследуемый период наблюдались в 20% случаев. Летом отмечается преобладание инверсий (71% случаев), способствующими увеличению загрязнения приземного слоя атмосферы, а число дней с конвекцией наблюдалось в 29% случаев, что связано с влиянием отрога Азорского антициклона, наблюдаемого в последнее время над Европейской территорией. В переходный период (весна-осень) распределение соотношения состояний атмосферы (конвекция/инверсия) приблизительно равновероятно.

Временной ход состояний атмосферы за исследуемый период представлен на рис. 3.

Из рис. 3 видно, что за исследуемый период распределение различных состояний атмосферы имело пестрый характер, но основные закономерности, выявленные при анализе рис. 2, сохранены, т.е. зимой преобладают конвективные движения воздуха, а летом – инверсии. При этом следу-

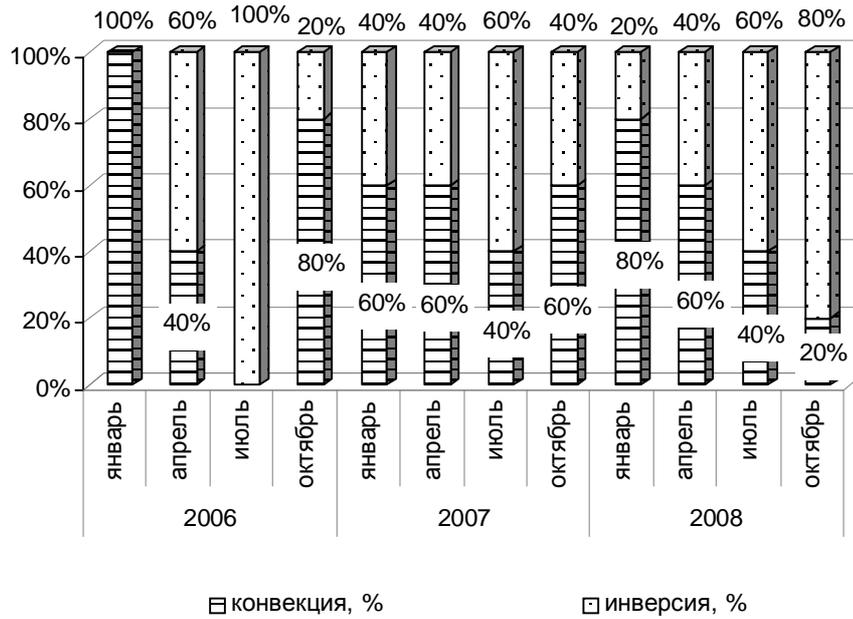


Рис. 3. Изменение условий рассеивания в течение нескольких лет

Таблица 2

Максимальные значения отношений средних значений концентраций загрязнений при состояниях атмосферы «инверсия/конвекция»

	Оксид углерода	Диоксид серы	Диоксид азота	Формальдегид
утро	1,7	2,1	3,4	2,7
день	1,4	1,4	1,5	3,0
вечер	1,3	1,8	1,8	3,6

ет обратить внимание на характер распределения состояний атмосферы в 2007 году, когда наблюдалось приблизительно равновероятное распределение конвекций и инверсий.

При проведении исследований замеры концентраций вредных веществ в воздухе производились в разные сезоны года утром в 07 ч. 30 мин., днем – 13 ч. 30 мин. и вечером – 19 ч. 30 мин. Измерение концентраций в разное время дня в течение года является одним из оснований для их сравнения с ПДК среднесуточной. Для выявления закономерности изменения концентрации со временем проведен анализ концентрации загрязняющих веществ в зависимости от состояния атмосферы. Сравнивались средние значения концентрации за весь период наблюдений при разном состоянии атмосферы отдельно в течение дня в 7:30, 13:30 и 19:30. Всего проанализировано 60 дней, из которых число дней, когда наблюдалась конвекция – 37, а инверсия – 23.

Максимальные значения отношений средних значений концентраций при состояниях атмосфе-

ры «инверсия/конвекция» в течение суток представлены в таблице 2.

Данные, представленные в таблице 2, свидетельствуют о значительном увеличении концентраций загрязняющих веществ в течение суток при наличии инверсии температуры, которая препятствует вертикальному перемешиванию воздуха и способствует застаиванию воздуха в приземном слое. Максимальные концентрации диоксида азота в утренние часы при инверсии увеличиваются по отношению к дням с конвекцией в 3,4 раза, формальдегида – 2,7 раза, диоксида серы – 2,1 раза, а оксида углерода – 1,7 раза.

Общие выводы по результатам анализа зависимости концентраций загрязняющих веществ в дневное время от состояния атмосферы совпадают с результатами исследования в утренние часы: увеличение загрязнения атмосферы четко прослеживается при наличии инверсий температуры, но максимальные значения отношений «инверсия/конвекция» днем по отношению к утренним наблюдениям значительно ниже, за исключением

Экологическая оценка загрязнения воздушного бассейна автотранспортом
в зависимости от состояния атмосферы города Воронежа

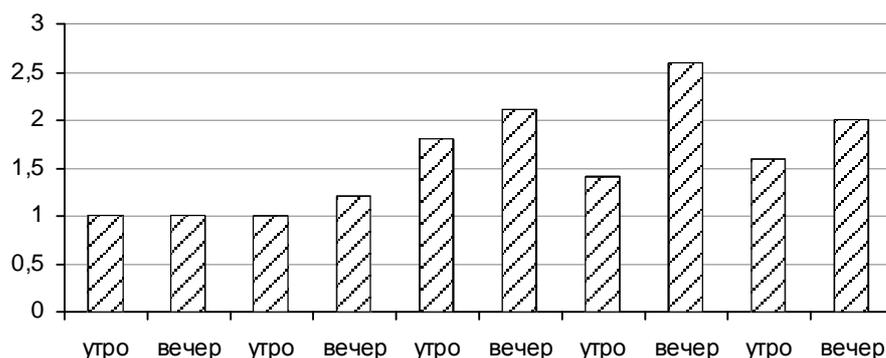


Рис. 4. Временной ход изменения концентрации оксида углерода при переходе от конвекции к инверсии в течение одного дня

Таблица 3

Максимальные значения изменения концентраций загрязняющих веществ, при переходе состояния атмосферы от конвекции к инверсии в течение одного дня

	Оксид углерода	Диоксид серы	Диоксид азота	Формальдегид
Изменение концентраций (раз)	1,85	1,01	1,12	1,16

формальдегида, у которого коэффициент увеличивается с 2,7 до 3,0. Дневное повышение концентрации загрязняющих веществ связано с увеличением антропогенной нагрузки из-за увеличения автотранспорта в рабочие дни, зафиксированного визуально при подсчете интенсивности автотранспорта.

В вечернее время, установлено увеличение максимальных значений отношений концентраций загрязнений при состояниях атмосферы «инверсия/конвекция» по сравнению с суточными показателями, за исключением оксида углерода, у которого наблюдается понижение уровня концентрации в течение суток до 1,3 раза (по сравнению с 1,7 раза в утренние часы). Уровень концентраций формальдегида в вечерние часы максимален и увеличивается в течение светового дня от 2,7 раза утром до 3,6 раза вечером.

Установлено, что когда в течение одного месяца наблюдались два разных состояния атмосферы при инверсиях в течение всего дня, то концентрации загрязняющих веществ оказывались выше. Погодные условия, при которых в течение всего месяца проведения замеров постоянно шел дождь или наблюдались высокие температуры воздуха у поверхности земли (выше +30°С), можно отнести к нетипичным погодным условиям для проведения подобных наблюдений и их можно принять за погрешность. Таким образом, при инверсиях в

течение всего дня концентрации загрязняющих веществ выше в 88 % наблюдений.

Представляет интерес анализ изменения концентрации загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы при изменении состояния атмосферы в течение дня. Всего из наблюдаемых 60 дней изменения состояния атмосферы в течение одного дня менялись 26 раз. Случаев перехода состояния атмосферы от конвекции к инверсии наблюдалось 5, а переход от инверсии к конвекции – в 21 случаях. Переход изменения фиксировался в течение одного дня 2 раза, сравнивались параметры утреннего состояния атмосферы (в 3.00 часа) и дневного (в 15.00 часов).

Периоды перехода состояния атмосферы в неблагоприятные условия рассеивания загрязняющих веществ способствуют увеличению их концентраций (таблица 3).

Материалы таблицы 3 показывают, что при переходе состояния атмосферы от конвекции к инверсии в течение дня наблюдается увеличение концентрации оксида углерода в 1,85 раз; концентрация остальных веществ увеличивается не столь значительно и составляет для диоксида серы 1,01 раза, диоксида азота – 1,12 раза, а для формальдегида – 1,16 раз.

На рис. 4 для примера представлен временной ход изменения концентрации оксида углерода в случаях, когда в ночное время (3.00 часа) наблю-

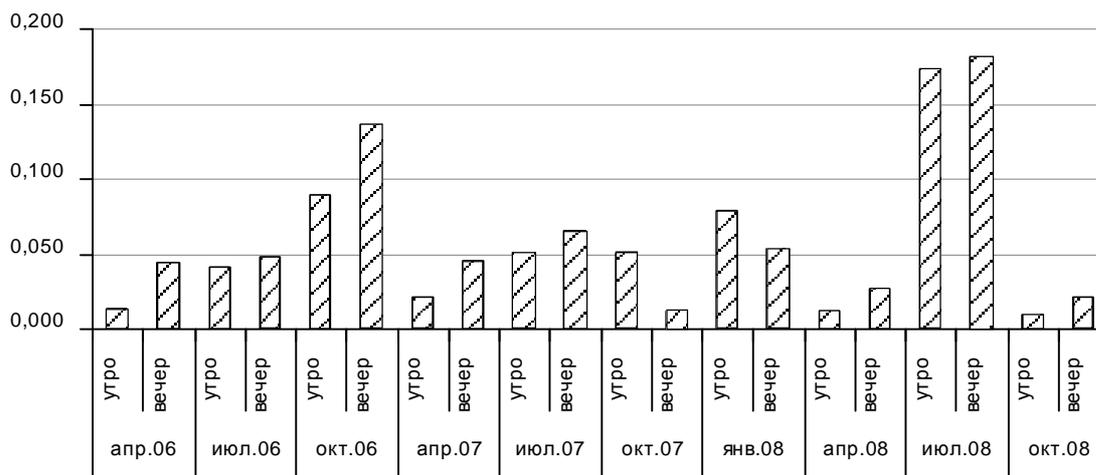


Рис. 5. Временной ход концентрации оксида азота при переходе от инверсии к конвекции в течение одного дня

далась конвекция, а в период дневного зондирования атмосферы (15.00 часов) наблюдалась инверсия. Очевидно увеличение концентрации оксида углерода в вечернее время по сравнению с утренними показателями.

Случаи перехода состояния атмосферы от инверсии к конвекции наблюдались в 21 случае. Изменение концентрации оксида азота в случаях, когда в ночное время (в 3.00) наблюдалась инверсия, а в дневное время (в 15.00) наблюдалась конвекция в течение одного дня представлено на рис. 5.

Данные условия должны способствовать снижению концентрации за счет улучшения условий рассеивания, однако снижение концентрации происходит неравномерно и не носит постоянный характер, как при ухудшении условий рассеивания атмосферы. Данное «непостоянное изменение» может быть связано с естественными причинами – повышением температуры в течение дня, т.к. наибольшие случаи увеличения концентрации зафиксированы в теплые месяцы (июль), а также причиной может быть и антропогенный фактор – увеличение выбросов в атмосферу с ростом интенсивности автотранспорта в пределах улично-дорожной сети.

Наихудшие условия вертикального рассеивания атмосферы приходится на самый жаркий сезон года. В это время необходимо максимально снижать уровень антропогенного воздействия, способствующего увеличению концентраций загрязняющих веществ в воздухе приземного слоя атмосферы.

Состояние атмосферы – важный естественный фактор, влияющий на концентрацию загрязняющих веществ в атмосфере. Для г. Воронежа следует учитывать, что летом характерно увеличение дней с инверсией, особенно при высоких темпе-

ратурах воздуха, способствующих увеличению концентрации загрязняющих веществ. Этот факт следует учитывать при разработке различных экологических мероприятий. Например, снижения температуры в условиях городской застройки летом можно достичь за счет увеличения площадей, занятых зелеными насаждениями, или с помощью полива автомобильных дорог.

Мероприятия, направленные на снижение содержания вредных веществ в приземном слое воздуха в неблагоприятные для рассеивания периоды, могут заключаться в регулировании количества автотранспорта на улицах города, регулировании потока и его скоростного режима для обеспечения минимальных выбросов, расширении площадей зеленых насаждений.

Таким образом, динамика загрязнения бассейна города в зависимости от состояния атмосферы выглядит следующим образом.

1. Для города Воронежа характерно преобладание конвективных (восходящих) движений воздуха (53 % случаев), а также в 35 % – переход от инверсии к конвекции; повторяемость сроков наблюдений с инверсиями составляет 3 %.

2. В распределении различных состояний атмосферы выявлен годовой ход с максимумом конвекций (80 % случаев) зимой и минимумом (29 % случаев) летом.

3. Наиболее благоприятные условия для рассеивания загрязняющих веществ в течение года наблюдаются в зимние месяцы, когда в 80 % случаев происходят конвективные движения воздуха. Летом количество инверсий особенно велико в утренние часы. Для переходных сезонов года (весна и осень) характерно равновероятное распределение инверсий и конвекций.

4. Лучшими «индикаторами» загрязнения атмосферы вследствие неблагоприятных условий рассеивания являются диоксид азота и формальдегид, отражающие существенный вклад автотранспорта в загрязнение атмосферы.

5. Концентрации формальдегида в дни с инверсией в 3,6 раза, диоксида азота – в 3,4 раза, диоксида серы в – 2,1 раза, а оксида углерода – в 1,7 раза выше, чем при конвекции.

6. В течение суток в случае образования инверсии концентрация оксида углерода может увеличиться в 1,85 раза, диоксида серы – в 1,01 раза, диоксида азота – в 1,12 раза, формальдегида в – 1,16 раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронеж : среда обитания и зоны экологического риска / С. А. Куролап [и др.]. – Воронеж : Истоки, 2010. – 207 с.

Акимов Леонид Мусамудинович
кандидат географических наук, доцент кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды Воронежского государственного университета, г. Воронеж,
т. (4732) 66-56-54, E-mail: root@geogr.vsu.ru, akl63bk.ru

Якушев Александр Борисович
ведущий специалист экологического сопровождения проектов ООО «Центр-Дорсервис», г. Воронеж,
т. 89081397174, E-mail: alecsandr2025@mail.ru

Куролап Семен Александрович
доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой геоэкологии и мониторинга окружающей среды Воронежского государственного университета,
г. Воронеж, т. (473)266-56-54, E-mail: skurolap@mail.ru

2. ГН 2.1.6.1338-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. – М. : Минздрав России, 2003. – 61 с.

3. ГН 2.1.6.1983-05. Дополнение и изменения 2 к ГН 2.1.6.1338-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. – М. : Минздрав России, 2006. – 5 с.

4. Константинов В. М. Охрана природы / В. М. Константинов. – М. : Академия, 2000. – 190 с.

5. О санитарно-эпидемиологической обстановке в городе Воронеже в 2008 году : докл. / М. И. Чубирко, Ю. И. Степкин. – Воронеж : Упр. Роспотребнадзора по Воронеж. обл., 2009. – 97 с.

6. О состоянии окружающей среды и природоохранной деятельности городского округа город Воронеж в 2009 г. : докл. / Упр. по охране окружающей среды адм. гор. округа города Воронежа. – Воронеж : ИПЦ ВГУ, 2010. – 78 с.

Akimov Leonid Musamudinovitch
Candidate of Geography, assistant professor of the department of the geocology and environmental monitoring of the Voronezh State University, Voronezh,
tel. (4732) 66-56-54, E-mail: root@geogr.vsu.ru, akl63bk.ru

Yakushev Alexander Borisovitch
leading specialist of environmental support of the projects «Center-Dorservice», Voronezh, tel. 89081397174,
E-mail: alecsandr2025@mail.ru

Kurolap Semyon Alexandrovitch
Doctor of Geography, Professor, Head of the department of geocology and environmental monitoring, Voronezh State University, Voronezh, tel. (473) 266-56-54,
E-mail: skurolap@mail.ru