

НЕБЛАГОПРИЯТНЫЕ ДЛЯ КАЧЕСТВА ВОЗДУХА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ

*И.Н. Кузнецова¹, И.Ю. Шалыгина¹, М.И. Нахаев¹, А.А. Глазкова¹,
П.В. Захарова², Е.А. Лезина², А.М. Звягинцев³*

¹Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации

²ГПБУ «Мосэкомониторинг»

³Центральная аэрологическая обсерватория, г. Долгопрудный
lezina@mosecom.ru; azvyagintsev@cao-rhms.ru

Введение

Если использовать рекомендованный Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) показатель – предельно допустимую максимально разовую концентрацию (ПДК_{м.р.}), рассчитываемую как среднее за 20 минут измерений [8], то опасные для здоровья людей условия в Московском регионе наблюдаются нечасто. Другой показатель – предельно допустимая средняя суточная концентрация вредного вещества (ПДК_{с.с.}) – предназначен для оценки прямого или косвенного воздействия на человека при неограниченно долгом (годы) вдыхании загрязняющего вещества [4].

Ближние временные масштабы (до нескольких часов) изменчивости концентраций антропогенных примесей и влияющих на них метеорологических характеристик являются обоснованием для установления связи между ними с целью краткосрочного прогноза атмосферных условий, способствующих формированию наибольших и опасных концентраций загрязняющих веществ в приземном воздухе.

Решение поставленной задачи возможно при использовании данных с высоким временным и пространственным разрешением. Такими данными являются использованные нами измерения на автоматизированных станциях контроля загрязнения атмосферы (АСКЗА) в 2008–2013 гг., предоставленные ГПБУ «Мосэкомониторинг». Кроме стандартных метеорологических наблюдений использовались данные высотных наблюдений на телебашне Останкино, на метеорологической мачте (ВММ) в Обнинске, а также дистанционные измерения профилей температуры в атмосферном пограничном слое (АПС) приборами МТП-5 в разнесенных пунктах Московского региона.

В зависимости от генезиса загрязняющие воздух вещества делятся на два основных типа: первичные (эмиссии городских источников) и вторичные, образующиеся в результате химических реакций, в том числе фотохимических. Первичные загрязнители NO и CO поступают в приземный слой атмосферы в основном от автотранспорта – главного источника

загрязнения городского воздуха (<http://www.mosecom.ru/reports/>). CO – химически малоактивен в отличие от NO, который в обычных для атмосферы условиях в течение нескольких минут превращается в более токсичный NO₂ [10]. В химически активной городской атмосфере вклад вторичных загрязнителей в общем загрязнении воздушного бассейна мегаполиса значителен. Часть загрязнения воздушного бассейна города обусловлена адвекцией, т.е. дальним переносом примеси.

Особое место занимает приземный озон (O₃). В основном он поступает в пограничный слой из свободной тропосферы, но только за счет фотохимической генерации в загрязненном городском воздухе его концентрация может возрасти до опасных уровней [1, 5].

Другой загрязнитель, названный ВОЗ самым опасным для здоровья [2], взвешенные (твердые) частицы размером не более 10 мкм (PM₁₀) – является по существу многокомпонентным, он образуется различными веществами антропогенного и природного происхождения, а также в результате химических реакций в атмосфере. Резкое возрастание PM₁₀ в городском воздухе может быть обусловлено и городскими процессами, и переносом от удаленных источников. PM₁₀ имеет тесную связь с химически малоактивным первичным антропогенным загрязнителем угарным газом (CO). По нашим расчетам коэффициент корреляции массовой концентрации PM₁₀ и концентрации долгоживущего CO находится в диапазоне 0,7–0,8 [3]. Данные измерений PM₁₀ и CO используются при анализе изменчивости общего загрязнения городского воздуха под влиянием атмосферных процессов различного масштаба. При этом следует отметить, что в Москве на АСКЗА измерения PM₁₀ проводятся пока на ограниченном числе станций (на сети Росгидромета такие наблюдения отсутствуют), а CO – почти на 30 станциях.

В статье обсуждаются метеорологические аспекты ухудшения качества воздуха в мегаполисе; в следующем разделе кратко обсудим «актуальность» названных выше загрязняющих воздух Москвы веществ, используя в качестве критерия качества воздуха ПДК_{м.р.} каждого ингредиента.

О повторяемости опасных концентраций загрязняющих веществ в Московском регионе

В приземном воздухе Москвы – города с самым большим автомобильным парком в стране – повторяемость концентраций химически активных оксидов азота (NO_x) величиной ≥ ПДК_{м.р.} мала, на станциях и городского, и примагистрального типа – менее 1 % (<http://www.mosecom.ru/reports/>); резкое увеличение содержания NO_x в приземном воздухе происходит при неблагоприятных для его очищения метеорологических условиях (НМУ).

Концентрация приземного озона выше ПДК_{м.р.} (160 мкг м^{-3}) в воздухе Московского региона в среднем за пять лет (2008–2012 гг.) наблюдалась в 1–3 % случаев (рис. 1). Приведенные данные не включают наблюдения в период экстремальной ситуации летом 2010 г, когда почти 20 календарных дней содержание озона в приземном воздухе значительно превышало критические уровни: в отдельные дни в 2–2,5 раза [5]. Следует отметить, что в городской атмосфере по сравнению с пригородами преобладают процессы деструкции озона [7], по нашим оценкам в среднем концентрация приземного озона в городе на $10\text{--}20 \text{ мкг м}^{-3}$ меньше, чем в ближних пригородах, а в период смога различия могут увеличиваться до $50\text{--}70 \text{ мкг м}^{-3}$.

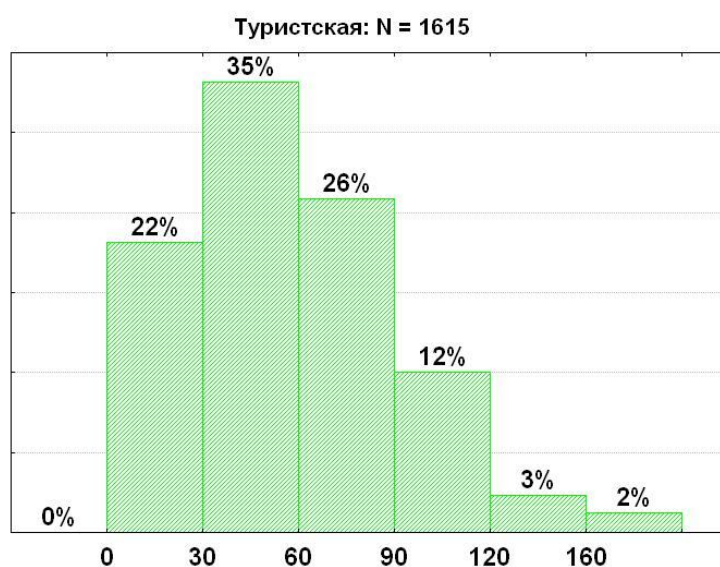


Рис. 1. Распределение (%) максимальных суточных концентраций озона.

Москва (станция городского типа). 2008–2012 гг. (по оси x – концентрация O_3 , мкг м^{-3}).

Для оценки воздействия на здоровье мелких взвешенных частиц (PM_{10}) рекомендуется использовать усредненную за сутки концентрацию; отечественный норматив (60 мкг м^{-3}) менее строгий, чем предлагается ВОЗ (50 мкг м^{-3}). По измерениям на станциях АСКЗА различного типа в период январь 2008 – август 2013 гг. (за исключением августа 2010 г.) установлено, что повторяемость попадания PM_{10} в градацию опасных концентраций составляет 1–3 %, в соответствии с критерием ВОЗ до 7 % (рис. 2).

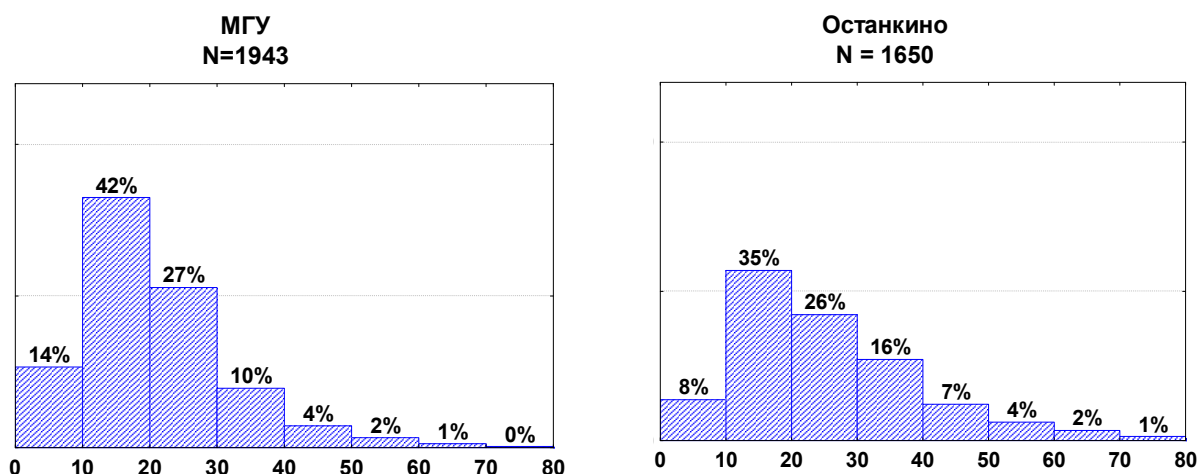


Рис. 2. Распределение (%) средней суточной массовой концентрации PM₁₀ на станциях городского типа в Москве (по оси x – концентрация PM₁₀, мкг м⁻³).

Сезонная обусловленность неблагоприятных метеорологических факторов

Изменение содержания поступающих в воздух города загрязняющих веществ определяется в основном тремя метеорологическими факторами: термическим и динамическим перемешиванием, воздействием осадков. Часть изменчивости загрязнения воздуха определяют химические процессы в городской атмосфере; их интенсивность зависит от погодных условий – температурного и радиационного фона, влагосодержания, скорости рассеивания, которые имеют выраженные сезонные вариации.

Адвекция газовых примесей не дает значительного вклада в колебания уровня загрязнения большого города, за исключением ситуаций с распространением шлейфов продуктов горения из очагов природных пожаров [5]. Только содержание PM₁₀ может превысить гигиенический норматив за счет дальнего переноса взвешенных частиц. Как показал наш анализ [3], такие события наблюдаются в основном в теплый период, но единичные случаи были зафиксированы также в феврале и ноябре при выносе воздушных масс из полупустынных районов Нижнего Поволжья и Западного Казахстана в теплом секторе антициклона со скоростью переноса 12–17 м с⁻¹ в АПС.

Для установления сезонных особенностей среднего переноса в АПС по данным радиозондирования в период 2007–2012 гг. (ст. Долгопрудный) рассчитана повторяемость скорости ветра на изобарической поверхности (и.п.) 925 гПа. Оказалось, что в среднем за год повторяемость скорости $V_{925} \geq 10$ м с⁻¹ составила около 45 %, а скорости переноса не больше 6 м с⁻¹ – примерно 35 % (рис. 3). Слабые ветры в АПС ($V_{925} \leq 6$ м с⁻¹) чаще всего наблюдаются летом (≈ 45 %), весной повторяемость таких скоростей переноса составляет 40 %, осенью около 30 %, зимой около 25 %. При этом повторяемость интенсивного переноса

($V_{925} \geq 10 \text{ м с}^{-1}$) составила зимой примерно 60 %, осенью около 50 %, весной 40 %, летом 33 % (почти вдвое меньше, чем зимой).

Приведенные данные о ветровом режиме не могут свидетельствовать, что условия очищения приземного воздуха от загрязнений в теплый сезон хуже, чем зимой; поскольку активизируются и становятся решающими другие факторы, в первую очередь, конвективное перемешивание с соответствующим увеличением слоя перемешивания до 1,5–2 км.

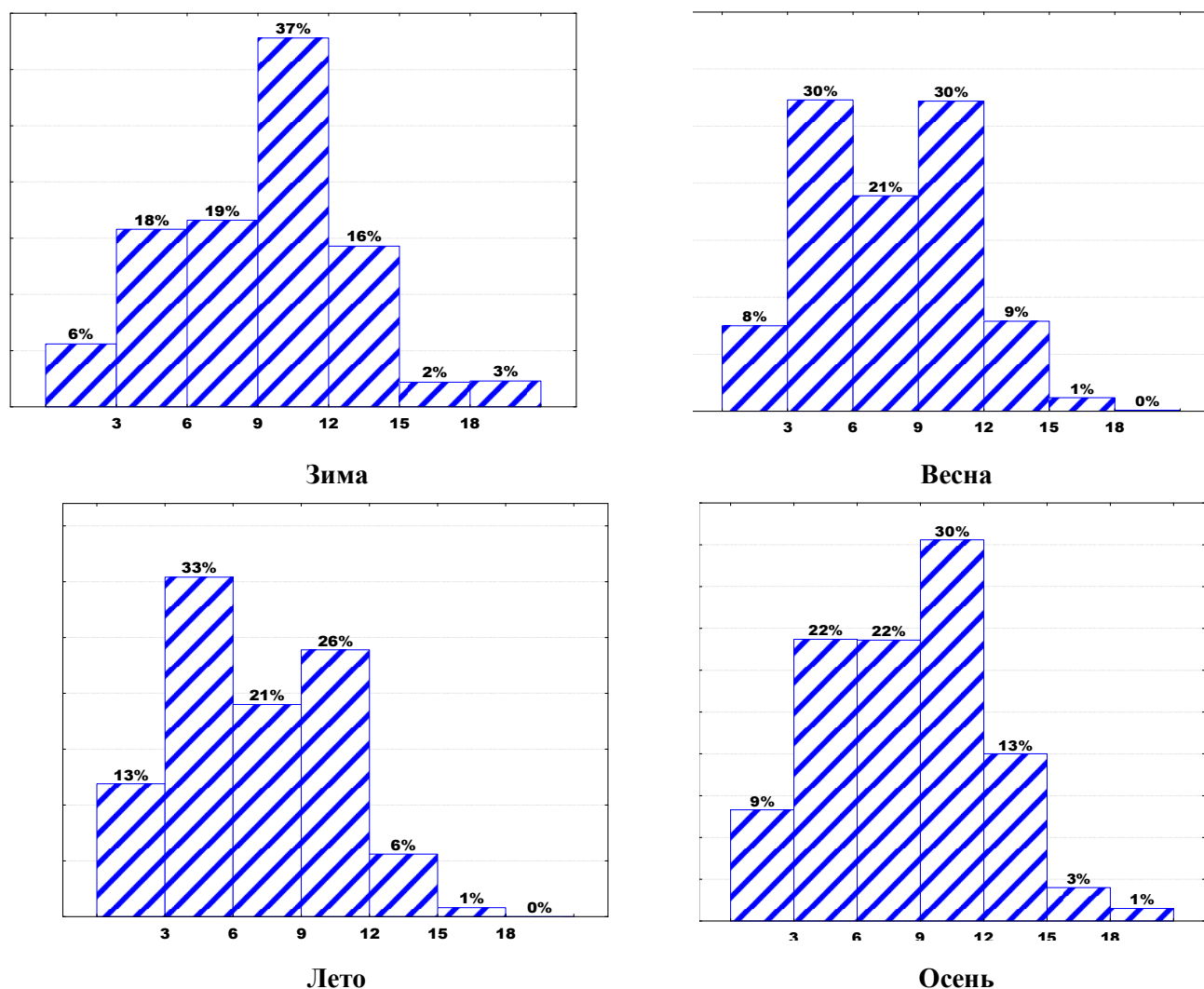


Рис. 3. Сезонная повторяемость (%) скорости ветра на и.п. 925 гПа по данным радиозондирования ст. Долгопрудный. 2007–2012 гг. (по оси x – скорость ветра в м с^{-1}).

Характеристики термического перемешивания, о которых можно судить по повторяемости вертикальных градиентов температуры (γ) в слое 0–100 м, рассчитанной по измерениям приборами МТП-5 в разнесенных пунктах Московского региона, показывают, что условия, что условия конвективной неустойчивости, способствующие интенсивному вертикальному перемешиванию ($\gamma \geq \gamma_{ca}$), на окраинах Москвы имеют частоту 40–45 % (γ_{ca} – сухоадиабатический градиент температуры $0,98^\circ/100 \text{ м}$). В центре города

повторяемость таких условий ($\gamma \geq \gamma_{ca}$) в холодный сезон приближается к 90 %, летом составляет примерно 60 % [7].

Как отмечалось многими исследователями, в большом городе высокая неоднородность теплофизических свойств и шероховатости подстилающей поверхности вносит «коррективы» в температурно-ветровой режим, влияя и на фоновый ветровой поток, и на радиационные процессы в АПС. И самые худшие условия для рассеивания примесей – наличие *приземной инверсии*, формируются в центре Москвы реже 1 % случаев, в ближнем пригороде с повторяемостью примерно 20 % случаев. Следует отметить и значительную роль «выбросов и потерь» городского тепла, возрастающих в отопительный сезон, которые способствуют усилению термической неустойчивости, и тем самым рассеиванию примесей.

Анализ связей концентраций основных загрязняющих веществ в воздухе Москвы (СО, NO_x и РМ₁₀) и метеорологических характеристик позволил установить неблагоприятные для очищения приземного воздуха метеорологические условия в АПС, при которых значительно повышаются уровни загрязнения воздуха и резко возрастает вероятность¹ образования высоких, т.е. опасных, концентраций загрязнений.

Диапазон неблагоприятных метеорологических условий (НМУ) включает синхронизированный с термической устойчивостью слабый перенос в нижних слоях атмосферы: в слое до 300 м – до 4 м с⁻¹, в слое до 500 м – не более 6 м с⁻¹. Частота НМУ, рассчитанная по данным наблюдений за семь лет (2007–2013 гг.), хорошо согласуется с сезонными особенностями условий образования температурных инверсий [7] и появления слабого ветра в АПС (рис. 3). Как видно в табл. 1, в холодный период (с октября по март) количество НМУ примерно в 3–4 раза меньше, чем в теплый сезон, но даже месяц с максимумом НМУ (февраль) уступает по количеству дней «самым чистым» месяцам теплого периода. Чаще всего НМУ в Московском регионе наблюдаются в июле-августе, а также в апреле.

Таблица 1

Количество календарных дней с НМУ. Москва, 2007–2013 гг.

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Количество дней	8	11	9	21	17	16	44 18*	35 14*	18	8	1	5

Примечание. * – 2010 г.)

¹ Некоторая неопределенность достижения уровня в градации высокие концентрации («не меньше ПДК») обусловлена целым рядом факторов, в частности, зависимостью от недельного цикла сезонно различающихся эмиссий, от химической активности атмосферы, от предыстории воздушной массы, от активности процессов переноса городского масштаба, образования в термически устойчивом АПС струйных низкоуровневых течений и т.д.

Несмотря на высокую пространственную неоднородность полей концентраций загрязняющих веществ в мегаполисе, частота эпизодов высокого загрязнения воздуха в Московском регионе достаточно хорошо согласуется с сезонной повторяемостью влияющих на рассеивание примеси метеорологических факторов. Проиллюстрируем это на примере СО, принимая во внимание, что преобладающий фоновый уровень химически малоактивного угарного газа (СО) в городе составляет 0,4–0,5 мг м⁻³.

Для идентификации эпизода загрязнения предложено применять критерий «достижение уровня не менее 0,8 ПДК_{м.р.}», а при использовании средней городской концентрации - «превышение фонового уровня не менее чем в 2,5 раза». Для каждого месяца семилетнего ряда (2007–2013 гг.) рассчитана средняя величина максимальной за сутки концентрации СО по наблюдениям на всех станциях АСКЗА (СО_{мах ср.}). В среднем за год СО_{мах ср.} составила 1,2 мг м⁻³, что в 2–3 раза больше фонового городского уровня СО. Приведенные в табл. 2 отклонения от средней годовой усредненной за месяц величины суточного максимума свидетельствуют, что в теплый сезон (с апреля по сентябрь) ΔСО_{мах ср.} положительные и по величине больше, чем в холодный сезон, что, в первую очередь, обеспечивается частотой НМУ (табл. 1).

Таблица 2

Отклонение усредненной по станциям АСКЗА максимальной за сутки концентрации ΔСО_{мах ср.} (мг м⁻³) от средней СО_{мах ср.} за год. Москва, 2007–2013 гг.

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Отклонение	-0,09	-0,14	-0,1	0,27	0,18	0,0	0,05 0,07*	0,2 0,73*	0,33	-0,02	-0,4	-0,22

Примечание. * – 2010 г.)

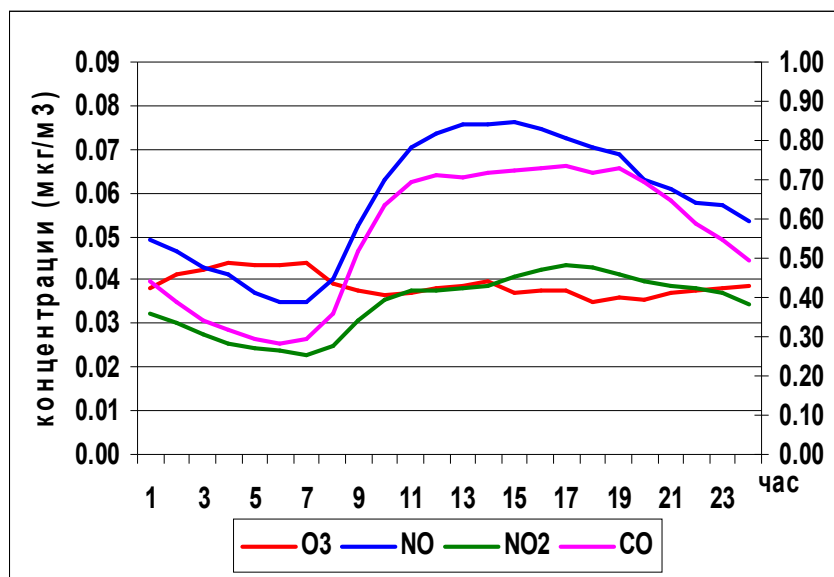
Отметим, что в апреле и сентябре СО_{мах ср.} несколько больше, чем в другие месяцы сезона; объяснением этого служат особенности формирования НМУ. А именно, в апреле и сентябре температурные инверсии, составляющий компонент НМУ, более продолжительные, а период конвективного перемешивания – короче, чем в другие месяцы теплого сезона.

Уместно отметить, что в мегаполисах Западной Европы, например, Лондоне, сезонный максимум концентрации основных загрязнений воздуха (за исключением озона) наблюдается в отличие от Москвы в холодный период [6].

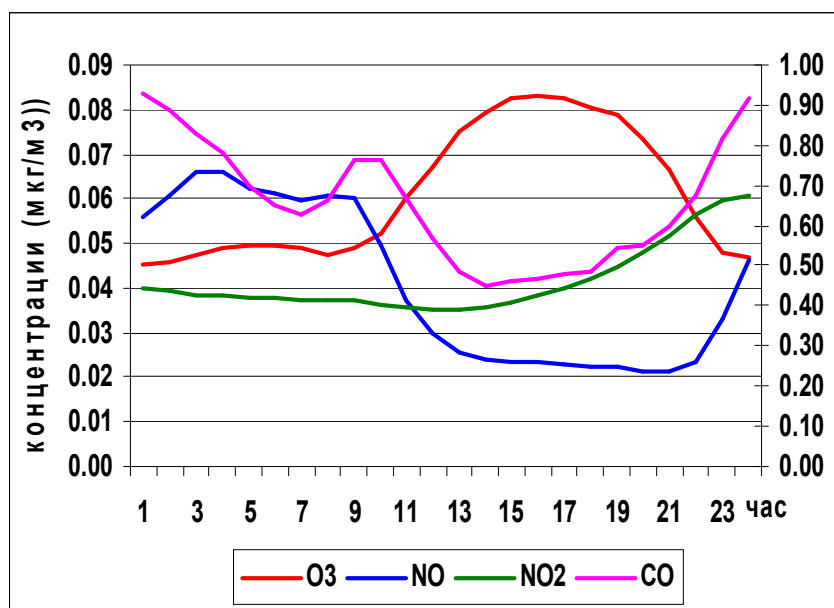
Внутрисуточные особенности формирования НМУ

При оценке негативного воздействия загрязнений воздуха важно учитывать, что значительные колебания содержания вредных примесей внутри суток имеет характерные

сезонные особенности. На рис. 4 показан усредненный суточный ход концентраций загрязняющих веществ на станции городского типа (ст. Спиридоновка) в холодный (ноябрь-февраль) и теплый (май-август) сезоны по расчетам 2006 г.



Холодный сезон



Теплый сезон

Рис. 4. Типовой суточный ход концентраций NO, NO₂ (мкг м⁻³), O₃ и CO (мг м⁻³), 2006 г. На вертикальной шкале слева NO и NO₂, справа – O₃ и CO.

В целом представленные здесь результаты хорошо согласуются с полученными по данным наблюдений 2009 г. [9]. Отметим основные сезонные отличия суточных максимумов концентраций загрязняющих веществ. Самое существенное отличие состоит в том, что в холодный сезон в условиях пониженной химической активности атмосферы загрязнение приземного воздуха происходит в основном первичными и короткоживущими вторичными

веществами, днем уровень загрязнения, выше, чем ночью. В теплый сезон при возрастании вклада химических процессов в городской атмосфере одновременно с активизацией дневного рассеивания примеси наиболее высокое загрязнение воздуха отмечается в поздние вечерние часы и утром, в послеполуденные часы резко возрастает содержание озона, достигая максимума в 16–18 ч [1, 5].

Вторым существенным отличием эпизодов загрязнения и НМУ является то, что в зимнее время продолжительность эпизода может превышать несколько суток, а в теплый сезон – не более 12 ч (с вечера до утра), за исключением экологически самых опасных смоговых ситуаций, сопровождаемых значительным повышением концентрации озона в послеполуденные часы.

Прогнозирование НМУ

На основании установленных связей концентрации загрязняющих веществ и метеорологических параметров (2005–2011 гг.) разработана типизация интенсивности атмосферных условий рассеивания и очищения приземного воздуха с использованием метеорологического параметра МПЗ (метеорологический параметр загрязнения), рассчитываемого по данным о скорости переноса в АПС, типе температурной стратификации и количестве осадков. Весь диапазон атмосферных условий рассеивания разделен на три: слабое, умеренное и интенсивное рассеивание (табл. 3).

Таблица 3

Метеорологические характеристики, определяющие метеорологический параметр загрязнения (МПЗ), и синоптическое описание МПЗ

Характеристика интенсивности рассеивания (очищения)	Скорость ветра в АПС (м с^{-1})	Барическое поле, перенос, стратификация, осадки
I слабое (НМУ)	<i>Слабая</i> в нижнем 1–1,5 км слое $V_{(0-850)} = 2-5$	Малогradientное барическое поле. Устойчивая стратификация.
II умеренное	<i>Умеренная</i> в приземном слое $V_0 = 1-3$, в слое 0.5–1.5 км $V_{925-850} = 6-7$	Малогradientная периферия барического образования с выраженным направлением переноса. Возможны слабые непродолжительные осадки.
III интенсивное	<i>Сильная</i> в слое 0.5 -1.5 км $V_{925-850} = 8$	Гradientная периферия барического образования с выраженным направлением переноса, сменой воздушной массы. Сильные осадки.

Практически оказывается достаточным разделение всего набора метеорологических условий, влияющих на загрязнение городского воздуха, на три группы. Учитывая, что

объективный расчет МПЗ производится с использованием прогностических величин параметров, полученных из численных моделей атмосферы, предлагается детализировать МПЗ по уточняющим признакам. Внутри каждого из трех типов МПЗ эмпирически были определены наборы и сочетания метеорологических характеристик и обуславливающие их синоптические объекты, атмосферные явления. Характеризующие МПЗ условия ранжированы по возрастающей интенсивности очищения воздуха с соответствующим увеличением индекса МПЗ (табл. 4).

Таблица 4

Внутритиповая градуировка МПЗ

Тип МПЗ	Уточняющие характеристики и признаки	Индекс МПЗ
I	Инверсия температуры с нижней границей не выше 150 м	1
	Близкая к изотермии стратификация температуры в нижнем 300-метровом слое. Без осадков.	2
II	Слой перемешивания не выше 300 м или близкая к изотермии стратификация в слое 0–300 м.	3
	Без осадков Периферия антициклона. Теплый сектор циклона.	4–5
	Периферия антициклона, теплый сектор циклона. Слабые морозящие осадки (0,1–3 мм/12 ч).	6–7
III	Средний слой перемешивания выше 300 м.	8
	Резкая смена воздушной массы ($\Delta T_{12ч}(925гПа) \geq 3^{\circ}C$, в теплый период $\geq 4^{\circ}C$).	9
	Зона атмосферного фронта. Умеренные или сильные осадки (больше 3 мм/12ч).	10
	Средняя скорость в ПСА $>10 м с^{-1}$.	11

Худшие условия для очищения приземного воздуха от примесей, неблагоприятные метеорологические условия (НМУ), способствующие на территории большого города повышению уровня загрязнения до опасного и приближающегося к нему (или сохранению высокого уровня) за счет воздействия городских выбросов, представляет первый тип МПЗ. Высокий уровень загрязнения, как показали наши исследования, может сформироваться в Московском регионе только при наличии приземной инверсии температуры при слабой скорости переноса в АПС (в нижнем 300–500 метровом слое атмосферы при скорости не больше $5 м с^{-1}$).

Важно отметить, что появление сдвигов ветра в слое инверсии является фактором, препятствующим накоплению в приземном воздухе загрязнений. Снижение числа ложных тревог о НМУ обеспечивается учетом влияния большого города на процессы переноса и рассеивания примеси.

В первую градацию МПЗ отнесены также ситуации с выраженной термической неоднородностью в мегаполисе (МПЗ=2), которая формируется при устойчивой

стратификации на окраинах в отсутствие инверсии в центральной части города. В силу аритмичности городских эмиссий в отдельные дни недели и в разные сезоны допускается, что при МПЗ=2 концентрации приоритетных примесей на большей части города значительно превышают средний фон (в 2–3 раза) и приближаются к уровню 0,8 ПДК.

Не описывая детально определение МПЗ второго и третьего типа, при которых не наблюдается опасных концентраций загрязняющих веществ, проиллюстрируем возможность объективного расчета поля МПЗ по данным модели COSMO-RU7 (табл. 3, 4). На рис. 5 показаны 6-часовые прогностические поля МПЗ для территории ЦФО (ночные, утренние, дневные, вечерние и ночные следующих суток) на 1–2 августа 2012 г. Приведенные расчеты отражают внутрисуточную динамику метеорологических предпосылок загрязнения приземного воздуха и хорошо согласуются с имевшими место резким повышением и внутрисуточными колебаниями уровня загрязнения воздуха в Москве [10].

Протестированная на данных Московского региона типизация МПЗ, по-видимому, может быть апробирована и на других урбанизированных территориях в соответствующем климатическом поясе, за исключением территорий с значительным влиянием ландшафтных факторов (прибрежная территория, котловинообразная местность, узкая долина и пр.). Простота расчета МПЗ и ориентация на предсказание НМУ позволяет использовать разработанную типизацию также для верификации химических транспортных моделей.

В развитие методов идентификации экологически неблагоприятных атмосферных факторов установлены также синоптические признаки и количественные критерии метеорологических параметров образования опасных для здоровья концентраций приземного озона. В отличие от первичных загрязнений, суточный максимум приземного озона формируется в послеполуденные часы (14–18 ч); приближение и попадание в градацию опасных концентраций связано с фотохимической генерацией при достаточном количестве предшественников озона (в основном, летучих органических соединений). Необходимыми условиями озоновых эпизодов являются дневная температура приземного воздуха не менее 26 °С при низкой относительной влажности (не более 50 %) и слабом переносе в пограничном слое (не больше 5 м с⁻¹).

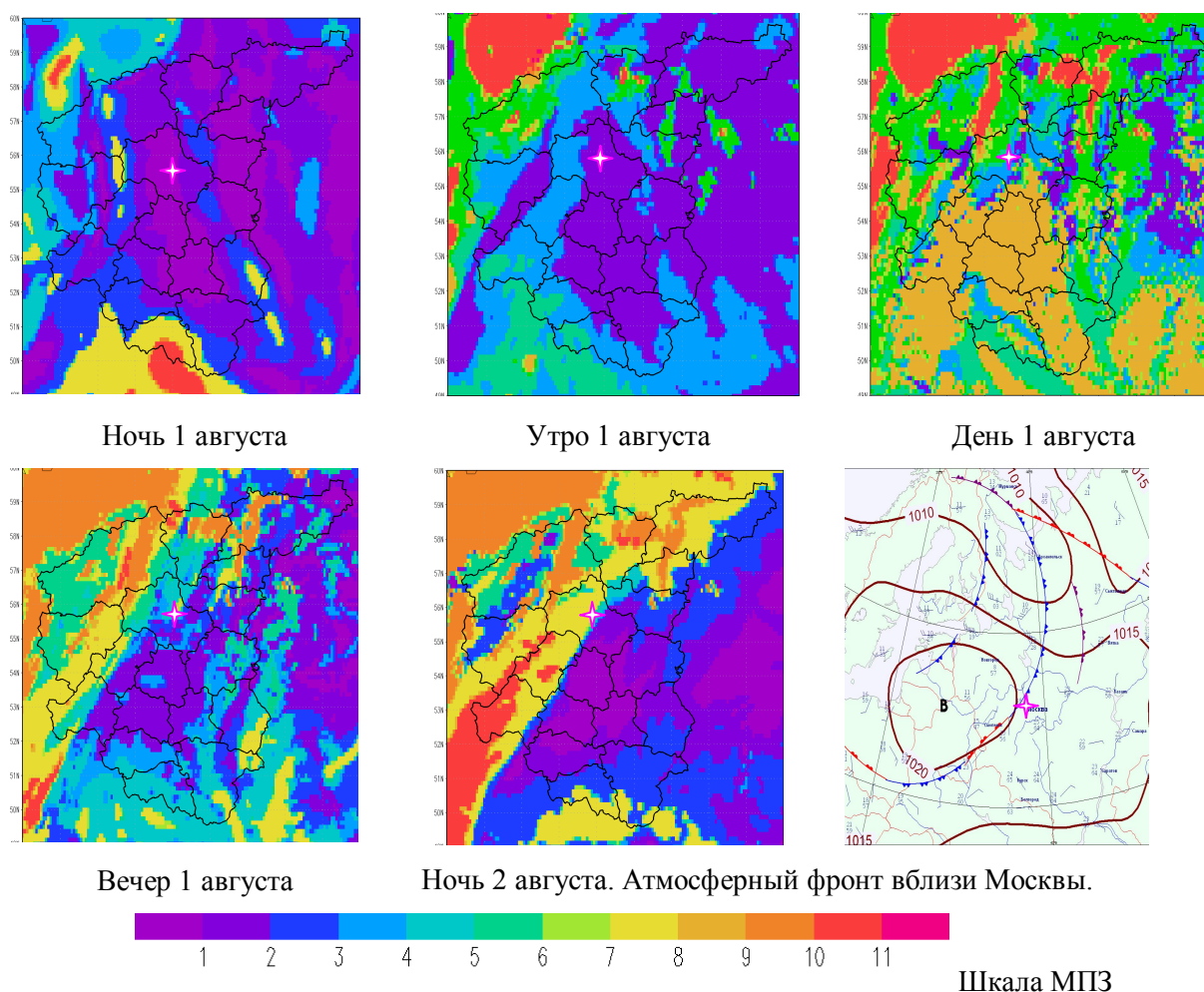


Рис. 5. Прогноз МПЗ в ЦФО, рассчитанный по прогностическим данным модели COSMO-Ru7, для 6-часовых периодов 1–2 августа 2012 г.

Выводы

Повторяемость концентраций загрязняющих веществ, превышающих ПДК_{м.р.} и представляющих опасность для здоровья при кратковременном воздействии, в Московском регионе по данным 2008–2013 гг. составляет 1–3 %.

Имеются и показаны метеорологические предпосылки увеличения повторяемости неблагоприятных для очищения воздуха метеорологических условий в теплый сезон, а также в утренние и вечерние часы.

Наиболее высокому загрязнению городского воздуха способствуют НМУ. Зимой эпизоды загрязнения формируются первичными (CO, NO) и короткоживущими вторичными (NO₂) загрязнителями атмосферы и могут продолжаться до 1–3 суток. Специфическими особенностями летних эпизодов является внутрисуточная смена доминирующих загрязнений: после утреннего пика, связанного с транспортными выбросами веществ, в послеполуденные часы происходит наполнение приземного воздуха продуктами химических реакций и фотохимической генерации, если этому способствует солнечная сухая погода.

Разработанная типизация МПЗ предназначена в первую очередь для прогнозирования метеорологических условий, способствующих резкому увеличению или сохранению высокого уровня загрязнения приземного воздуха. Приводятся примеры расчета МПЗ для областей Центрального Федерального округа с использованием данных мезомасштабной модели атмосферы COSMO-Ru7.

Работа выполнена частично при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 14-05-00481-а).

Список использованных источников

1. Белан. Б.Д. Озон в тропосфере. – Томск: Изд-во Ин-та оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, 2010. – 487 с.
2. Воздействие взвешенных частиц на здоровье. – Женева: Всемирная организация здравоохранения, 2013.
3. Глазкова А.А., Кузнецова И.Н., Шалыгина И.Ю., Семутникова Е.Г. Суточный ход концентрации аэрозоля (PM₁₀) летом в Московском регионе // Оптика атмосферы и океана. – 2012. – Т. 25. – № 6. – С. 495–500.
4. ГН 2.1.6.1338-03. Гигиенические нормативы "Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест".
5. Звягинцев А.М., О.Б. Блюм, А.А. Глазкова, С.Н. Котельников, И.Н. Кузнецова, В.А. Лапченко, Е.А. Лезина, Е.А. Миллер, В.А. Миляев, А.П. Попиков, Е.Г. Семутникова, О.А. Тарасова, Шалыгина И.Ю. Загрязнение воздуха на Европейской части России и в Украине в условиях жаркого лета 2010 года // Известия РАН. ФАО. – 2011. – Т. 47, № 6. – С. 757–766.
6. Звягинцев А.М., Кузнецова И.Н., Тарасова О.А., Шалыгина И.Ю. Изменчивость концентраций основных загрязнителей воздуха в Лондоне // Оптика атмосферы и океана. -2014.- Т. 27, № 5 (в печати).
7. Кузнецова И.Н., Кадыгров Е.Н., Миллер Е.А., Нахаев М.И. Характеристики температуры в нижнем 600-метровом слое по данным дистанционных измерений приборами МТП-5 // Оптика атмосферы и океана. – 2012. – Т. 25, № 10. – С. 877–883.
8. Рекомендации ВОЗ по качеству воздуха, касающиеся твердых частиц, озона, двуокиси азота и двуокиси серы. Глобальные обновленные данные. 2005 год. – Женева: Всемирная организация здравоохранения, 2006.
9. Gorchakov G., Semoutnikova E., Karpov A., Lezina E. Air Pollution in Moscow Megacity // Advanced Topics in Environmental Health and Air Pollution Case Studies. Intech. – 2011. – P. 211–236 (www.intechopen.com).
10. Seinfeld J.H., Pandis S.N. Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change. – New York: John Wiley & Sons, Inc. Second Edition. – 2006. – 1225 p.

Поступила в редакцию 25.04.2014 г.