

6

ГУ «Гидрометцентр России»

На правах рукописи

Шалыгина Ирина Юрьевна

**Исследование влияния метеорологических условий
на концентрацию приземного озона и его предшественников
в г. Москве**

Специальность 25 00 30 – метеорология, климатология и агрометеорология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук



Москва – 2007

Работа выполнена в ГУ «Гидрометцентр России»

Научный руководитель	кандидат географических наук И Н Кузнецова
Официальные оппоненты	доктор физико-математических наук М В Гальперин кандидат географических наук А А Алексева
Ведущая организация	Казанский государственный университет

Защита состоится 3 октября 2007 г в 14-00 часов на заседании диссертационного совета Д327 003 01 ГУ «Гидрометцентра России» по адресу 123242, Москва, Большой Предтеченский переулок, д 11-13

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Гидрометцентра России

Автореферат разослан 21 августа 2007 г

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор географических наук



Нестеров Е С

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы определяется практическими потребностями своевременного предсказания наиболее опасных экологических ситуаций в мегаполисе связанных с высоким уровнем загрязняющих примесей и обусловленных комплексом неблагоприятных метеорологических условий Наблюдению и прогнозированию приземного озона в последнее время уделяется повышенное внимание Такой интерес вызван несколькими объективными причинами Во-первых, озон является токсичным загрязнителем атмосферы в высоких концентрациях оказывающий негативное воздействие на здоровье человека и растительность Второе, озон играет ключевую роль в химических и фотохимических процессах в тропосфере, обуславливая ее окислительную способность В-третьих, вызывает обеспокоенность наблюдаемый в обширных континентальных районах Северного полушария как общий рост тропосферного и приземного озона, так и эпизоды с его повышенными и высокими концентрациями В московском регионе также наблюдается тенденция учащения таких эпизодов

Важной частью обозначенных проблем являются данные наблюдений, их качество, временное и пространственное разрешение В московском регионе только в последние годы с началом непрерывных наблюдений за загрязнением воздуха (ЦАО, ИФА РАН ГПУ «Мосэкомониторинг») появилась возможность изучения изменчивости концентраций газовых составляющих, в том числе, приземного озона. В представленной работе для систематических обобщений и изучения воздействий атмосферных процессов на изменчивость загрязняющих примесей на территории города впервые использованы данные непрерывных измерений на 32 станциях

Наблюдения на сети автоматизированных станций служат основой для реальных оценок качества воздуха, важным аспектом регулярного мониторинга является обнаружение эпизодов высоких концентраций O_3 , и их своевременное предупреждение В этой связи анализ случаев высокого уровня приземного озона имеет методологическую направленность цель которой установить синоптические предпосылки и изучить основные влияющие метеорологические факторы для разработки способов заблаговременного предсказания опасных для окружающей среды явлений

Одним из главных практических приложений данной работы является получение прогностических правил для расчетов максимальной суточной концентрации приземного озона как одной из самых токсичных примесей в городском воздухе, оказывающей прямое негативное воздействие на окружающую среду, в том числе на здоровье людей

Целью диссертационной работы являлись

Оценка влияния метеорологических условий на межсезонную и внутрисуточную изменчивость концентраций газовых составляющих на городских территориях с различной техногенной нагрузкой

Получение представлений о взаимной связи первичных и вторичных загрязняющих примесей на станциях города примагистрального смешанного влияния и на фоновых территориях

Оценка обоснованности применения комплексного показателя - метеорологического потенциала загрязнения (МПЗ) разработанного ранее и

используемого в оперативной практике для идентификации метеорологических условий рассеивания примесей в большом городе

Изучение природной изменчивости содержания озона в приземном воздухе, получение представлений о пространственных характеристиках приземного озона в Москве, выявление физических связей максимальных суточных концентраций озона с метеорологическими параметрами и типом атмосферной циркуляции сопоставление метеорологических процессов. сопутствующих высоким уровням озона в московском регионе и в зарубежной Европе

Разработка статистического метода краткосрочного прогноза максимальных концентраций приземного озона на территории Москвы

Научная новизна

Дана метеорологическая интерпретация межсезонной изменчивости концентраций загрязняющих примесей в городском воздухе на основе климатических данных о метеорологических параметрах, определяющих рассеивание примесей

Впервые получены количественные характеристики различий уровня загрязнения в отдельных районах большого города, отличающихся уровнем техногенных нагрузок в условиях интенсивного и слабого рассеивания примесей

Получено, исходя из характера распределения примесей по территории города, что в холодный сезон определяющим рассеивание фактором является скорость переноса в нижних слоях атмосферы, в теплый сезон основным управляющим механизмом является конвекция, т.е. вертикальный обмен

Полученные результаты существенно расширили понимание происходящих в большом городе процессов переноса загрязняющих примесей (CO , NO) и образования вторичных загрязнителей (NO_2 и O_3) в различные сезоны года.

Систематизированы метеорологические предпосылки формирования высоких уровней приземного озона в московском регионе, выявлены общие со странами зарубежной Европы признаки образования опасных концентраций приземного озона

Показаны и интерпретированы связи максимальных концентраций озона со средним городским уровнем CO , NO и NO_2 в утренние часы

Разработаны и прошли успешную проверку на независимой выборке прогностические уравнения максимальных концентраций озона для теплого периода в г. Москве

Научная и практическая ценность

Подтверждена эффективность наблюдений автоматических станций контроля загрязнения атмосферы (АСКЗА) для регулярного мониторинга качества воздуха и идентификации экстремально высоких уровней концентраций загрязняющих примесей на территории г. Москвы

Обоснована эффективность использования комплексного показателя метеорологических параметров для прогнозирования условий рассеивания примесей на территории большого города с дискретностью 6 часов

Полученные в работе количественные характеристики изменчивости концентраций газовых составляющих в условиях интенсивного и слабого рассеивания примесей на городских территориях с различной техногенной нагрузкой могут быть использованы в практической работе прогностических подразделений Росгидромета и других служб, осуществляющих мониторинг качества окружающей среды в больших городах

Апробирован метод расчета максимальных суточных концентраций озона в теплый период в районах города Москвы различающихся уровнем загрязнения приземного воздуха. Предложенный метод вошел в методику регионального прогноза максимальных суточных концентраций приземного озона, утвержденную ЦМКП Росгидромета и внедряемую в оперативную практику ГПУ «Мосэкомониторинг»

Личный вклад автора

Автор принимал непосредственное участие во всех этапах исследований включая формирование базы данных, анализ качества и систематизацию данных, проведение статистического анализа, разработку региональной методики прогноза максимальных суточных концентраций приземного озона

На защиту выносятся:

- 1 Результаты исследований влияния метеорологических условий на сезонную, внутрисуточную изменчивость концентраций приземного озона и его предшественников на основе новых данных непрерывных наблюдений за малыми газовыми составляющими в Москве
- 2 Комплекс метеорологических характеристик, обуславливающих аномально высокие уровни приземного озона в московском регионе в холодный и теплый сезоны
- 3 Метод расчета максимальных суточных уровней приземного озона для разных типов городских территорий

Апробация работы

Результаты диссертационной работы докладывались на научных семинарах в Гидрометцентре РФ ИФА РАН, Казанском государственном университете, а также на Международной конференции по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды «ENVIROMIS 2004» Томск, 2004, VIII Всероссийской конференции молодых ученых «Состав атмосферы и электрические процессы» Москва, 2004, X Всероссийской конференции молодых ученых «Состав атмосферы Климатические эффекты Атмосферное электричество» Москва, 2006, Международной конференции по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды «ENVIROMIS 2006» Томск 2006

Публикации. По теме диссертации опубликовано 13 печатных работ. Перечень публикаций приведен в конце реферата

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация состоит из введения пяти глав заключения и списка литературы. Работа изложена на 159 страницах включая 60 рисунков 30 таблиц и 2 приложения. Список литературы содержит 110 наименований и семь ссылок на интернет - сайты

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цели и задачи исследований, дана общая характеристика работы

В первой главе рассмотрены характеристики и источники приземного озона. Изложены основные химические формулы образования и разрушения приземного озона. Приведены негативные факторы влияния озона на здоровье человека и растительность. Даны критерии оценки качества воздуха.

Показано, что за рубежом мониторинг приземного озона и его предшественников осуществляется на сети станций на территориях с различным уровнем техногенных нагрузок во всех странах Западной Европы и в США, длительность рядов наблюдений составляет 20-30 лет. В России регулярная сеть мониторинга за приземным озоном отсутствует, наблюдения в больших городах (Новосибирск, Нижний Новгород, Санкт-Петербург, Томск) были организованы в последние 5-7 лет. В московском регионе регулярные наблюдения за приземным озоном начали проводить ЦАО на станции Долгопрудный – с 1991 г., а также ИФА РАН на территории метеорологической обсерватории МГУ и ГПУ «Мосэкомониторинг» на девяти постах АСКЗА – с 2002 г.

Обзор научных публикаций по исследованию метеорологических условий, в эпизодах с высокими концентрациями приземного озона в странах зарубежной Европы и Северной Америки, позволил выделить основные сопутствующие метеорологические факторы:

- антициклональный характер погоды,
- аномально высокая приземная температура,
- слабый ветер в низких слоях атмосферы,
- низкая относительная влажность воздуха.

Основные методы прогнозирования концентраций озона в приземном воздухе, используемые за рубежом, строятся на данных динамических моделей. В нашей стране развитие численных методов прогнозирования приземного озона на основе современных транспортно-фотохимических моделей сдерживается, в первую очередь, отсутствием адекватных сведений об эмиссиях загрязняющих веществ и отсутствием убедительных доказательств о преимуществах ныне используемых транспортно-фотохимических моделей (прежде всего в исследовательских целях) для прогнозирования концентраций приземного озона над статистическими.

В сложившихся условиях наиболее целесообразным представляется разработка статистических методов предсказания приземных концентраций озона для российских регионов, где проводятся регулярные наблюдения за концентрациями приземного озона и его предшественников.

Несмотря на развитие численных методов прогноза приземного озона, статистические методы его предсказания за рубежом в настоящее время достаточно эффективны и постоянно совершенствуются. Анализ посвященных этому вопросу научных публикаций показал, что в прогностических схемах используются такие метеорологические параметры, как максимальная температура приземного воздуха, влажность воздуха и скорость ветра, данные о температуре и скорости ветра в пограничном слое атмосферы и на стандартных изобарических поверхностях, данные о солнечной радиации, скорости и направлении переноса воздушной массы.

На основе имеющихся сегодня рядов наблюдений приземного озона и его предшественников на территории Москвы, полученных в ЦАО, ИФА РАН и ГПУ «Мосэкомониторинг» стало возможным проведение комплексного анализа сезонной и внутрисуточной изменчивости концентраций озона, изучению влияния метеорологических условий на его вариации и формирование аномально высоких концентраций с целью их предсказания. Именно этим задачам посвящена представленная диссертационная работа.

Во второй главе представлен обзор климатических характеристик условий рассеивания примесей в московском регионе на основе справочных пособий [Безуглая, Берлянд, Бызова, Исаев, Генихович] и собственных обобщений по метеорологическим данным за последние пять лет. Отмечается, что в московском регионе преобладают метеорологические условия, обеспечивающие интенсивное рассеивание загрязняющих примесей. Средняя многолетняя повторяемость неблагоприятных для очищения воздуха метеорологических условий в целом за год составляет 2-3 %, в отдельные месяцы она увеличивается до 4-7 %.

Внутренние циркуляции в большом городе существенно трансформируют перенос и распространение загрязнений в городском воздухе. Термически менее устойчивый, чем в окрестностях, нижний слой атмосферы в большом городе является дополнительным фактором рассеивания примесей. Эти два специфических механизма оказывают значительное влияние на содержание загрязнений в воздухе Москвы. Практически не изменившееся в последние годы, на фоне растущего количества автомобильных выбросов.

Также отмечено, что в последние годы в московском регионе, климатически благоприятном для очищения воздуха от загрязняющих примесей, произошло некоторое увеличение повторяемости отдельных эпизодов с метеорологическими условиями ослабленного рассеивания примесей. Это подтверждается учащением случаев с повышенным содержанием загрязняющих веществ.

Предложенная в Гидрометцентре России количественная индексация типов атмосферных процессов (МПЗ) является характеристикой рассеивающей способности нижней атмосферы и процессов очищения воздуха, что позволяет использовать ее в качестве предиктора в статистических схемах краткосрочного прогнозирования загрязнения воздуха.

В третьей главе изложены основные результаты систематизации и обобщений данных сезонной и внутрисуточной изменчивости концентраций газовых составляющих, наблюдения за которыми проводятся на станциях Москвы CO, NO (первичные выбросы), NO₂ а также приземный озон (вторичные загрязнители - продукты химических преобразований).

Впервые данные автоматизированной сети непрерывных наблюдений за концентрациями газовых составляющих на территории Москвы использованы для интерпретации их изменчивости под влиянием метеорологических процессов макро и мезо масштаба.

Проведенный нами анализ средних годовых и средних месячных концентраций CO, NO, NO₂ и O₃ на станциях АСКЗА с различным уровнем техногенных нагрузок показал, что поле загрязняющих приземный слой атмосферы примесей на территории г. Москвы характеризуется высокой неоднородностью. Средние годовые концентрации CO и NO на станциях примагистрального типа в 1,5-2 раза выше чем

на станциях смешанного влияния, и в 3-4 раза превышают уровни на фоновых территориях. В условиях *ослабленного* рассеивания при распространении загрязненного воздуха от источников в обычно чистые районы различия в содержании CO и NO на территории города сокращаются в 2 раза. При интенсивном рассеивании уровень загрязнения остается чаще всего в диапазоне 0,3-0,8 ПДК, носит локальный характер, при этом концентрации на примагистральных территориях могут быть выше, чем на фоновых в 8 раз.

Максимальное содержание NO₂, как и первичных загрязнителей, обычно наблюдается вблизи крупных автомагистралей; но столь выраженных контрастов содержания вторичных загрязнителей (NO₂) на территории города не установлено.

Приводятся полученные оценки влияния метеорологических условий на межсезонную и внутрисуточную изменчивость концентраций загрязняющих примесей на городских территориях с разной техногенной нагрузкой. Анализировались средние часовые концентрации оксидов азота, окиси углерода и озона, а также средние за месяц концентрации названных газовых составляющих. В качестве характеристик метеорологических условий использовались как комплексные показатели (МПЗ), так и отдельные метеорологические величины.

По данным наблюдений в Москве сезонные и внутрисуточные флуктуации уровня приземного озона отвечают основным закономерностям климатической изменчивости O₃ в умеренных широтах северного полушария (рис.1); различия средних месячных концентраций на территории города составляет 15-20%. Годовой минимум O₃ наблюдается в ноябре-декабре (средние месячные концентрации составляют 11-16 мкг/м³). Главный максимум в годовом ходе озона приходится на май (средние месячные концентрации - 46 мкг/м³), второй максимум отмечается в июле (средние месячные концентрации - 32 мкг/м³).

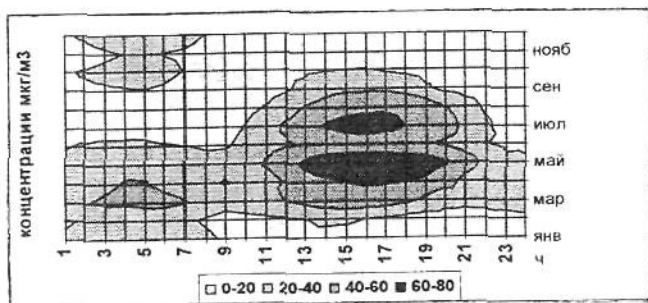


Рис. 1. Средняя месячная суточная концентрация приземного озона на станции МГУ (ИФА РАН), 2005-2006 гг.

Внутрисуточные изменения озона имеют ярко выраженные сезонные особенности:

- в холодный сезон наблюдается сглаженный суточный ход со слабовыраженным максимумом в ночное время;
- в теплый сезон максимум концентраций озона приходится на послеполуденные часы.

Межсуточные изменения средних и максимальных концентраций во все сезоны в целом незначительны. При малой межсуточной изменчивости, амплитуда суточного хода концентраций приземного озона в теплый сезон составляет 30-70 мкг/м³.

Сезонная изменчивость содержания газовых составляющих предшественников озона согласуется с годовым ходом влияющих метеорологических факторов.

Показано, что в теплый сезон доминирующим механизмом, определяющим содержание CO, NO, NO₂, является конвекция, обеспечивающая главный суточный минимум в дневные часы (по сравнению с ночным) – более глубокий. В большей степени именно конвекция с сопутствующим ей интенсивным вертикальным перемешиванием определяет локальный характер распределения загрязняющих примесей на территории города.

В холодный сезон средний суточный ход загрязнения имеет растянутый дневной максимум, что связано с низким слоем турбулентного перемешивания. Управляющим фактором распределения CO, NO, NO₂ по территории города в этот сезон является крупномасштабный перенос.

Получены представления о взаимной связи первичных и вторичных загрязняющих примесей на станциях города с различной техногенной нагрузкой. Для решения такой задачи проведен корреляционный анализ синхронных и асинхронных связей концентраций O₃ с измеряемыми предшественниками CO, NO и NO₂ (2006 г). Установлено, что связь приземных концентраций озона с предшественниками имеет выраженные сезонные особенности. Суточный ход концентраций приземного озона находится в противофазе с суточным ходом CO, NO, NO₂. Самые тесные связи установлены между максимальными концентрациями озона и концентрациями NO₂ в 9 часов утра (коэффициент корреляции 0,54-0,65).

Корреляционный анализ связей предшественников показал, что во все сезоны отмечается тесная связь между первичными загрязнителями CO и NO ($r = 0,71-0,93$), причем лучшие корреляции получены для территорий, не подверженных короткопериодным флуктуациям загрязнений (удаленных от источников). Связь оксидов углерода и азота с диоксидом азота имеет выраженную сезонную зависимость: в теплый сезон коэффициенты корреляции ниже, поскольку уровень концентраций NO₂ определяется не только первичными выбросами, но и солнечной освещенностью, и содержанием приземного озона. Средняя концентрация окиси углерода, рассчитанная по данным измерений на станциях, удаленных от прямых источников (за исключением фоновых) лучше, чем другие показатели загрязнения, отзывается на изменчивость метеорологических условий. Отмечается, что CO является надежным маркером общего загрязнения воздуха, включая неконтролируемые, но участвующие в генерации озона примеси (например, летучие органические соединения - ЛОС).

Одной из целей работы являлась оценка обоснованности применения комплексного показателя МПЗ для идентификации метеорологических условий рассеивания примесей в большом городе. Проведены исследования связей МПЗ и концентраций CO. Путем сравнения типовых суточных ходов, полученных для каждого сезона отдельно, при условиях интенсивного и слабого рассеивания (полярных МПЗ) для трех типов городских территорий, доказана эффективность применения комплексной характеристики метеоусловий. Существующая классификация МПЗ в целом адекватно отражает изменчивость загрязнения под влиянием метеорологических процессов. Но детализация МПЗ в 6-часовые интервалы лучше отражает изменчивость загрязнения как за счет особенностей внутрисуточной

динамики атмосферных процессов, так и благодаря возможности учитывать быструю смену синоптических процессов (прохождение фронта, внутримассовые осадки, например)

Следует подчеркнуть, что МПЗ лучше отражает изменчивость загрязнения на станциях смешанного и жилого типа, чем примагистральных районов, подверженных кратковременным флуктуациям загрязнения

Показано, что для каждого сезона определенному типу МПЗ соответствует характерный вид суточного хода и средний уровень концентраций загрязняющих примесей

Сделано заключение о возможности использования индекса МПЗ при прогнозировании уровня загрязнения статистическими методами

Проведенные исследования особенностей сезонного и суточного хода концентраций приземного озона, его предшественников, их связей, являются важным звеном при разработке методики прогноза максимальных суточных концентраций озона. Полученные результаты статистического анализа представляют научную ценность для понимания управляющих процессов и их учета при постановке задачи разработки методики прогноза приземного озона.

В четвертой главе рассмотрены случаи увеличения концентраций O_3 до уровней, превышающих величину 5 % повторяемости наибольших максимальных средних часовых концентраций приземного озона (ниже такие уровни будут называться аномальным или «высоким» озоном) Изучение экстремальных флуктуаций явления позволяет более глубоко понять природу явления и его связи с влияющими факторами

Применительно к приземному озону изучение предпосылок формирования высоких уровней в приземном воздухе и сопровождающих их метеорологических условий является особенно важным этапом работы, такие эпизоды представляют особый интерес как экологически опасные события, способные оказать негативное влияние не только на здоровье человека, но и на всю окружающую среду

В холодный сезон, характеризующийся низкими концентрациями и малой изменчивостью озона, время от времени наблюдается резкое увеличение концентраций в приземном слое до нехарактерных для сезона уровней Для изучения таких явлений и идентификации сопровождающих их атмосферных процессов за период 2003-2006 гг (октябрь-март) рассмотрены данные наблюдений на станциях АСКЗА г Москвы. Анализ атмосферных процессов позволил выявить метеорологические условия, обуславливающие в холодный сезон аномально высокие (выше 60 мкг/м^3) уровни озона в приземном воздухе Установлено, повышение содержание озона в приземном воздухе может наблюдаться при прохождении активных атмосферных фронтов, т.е., связано с бароклиническими зонами Также получено, что если прохождение фронта сопровождается интенсивными осадками, высоких концентраций приземного озона не наблюдается

Выявлено, что в холодный период одним из механизмов обогащения приземного воздуха тропосферным озоном в условиях устойчивой термической стратификации являются мезоструйные течения нижних уровней

Данные европейской сети мониторинга ЕМЕР с высоким временным разрешением и архивы метеорологических данных были использованы для изучения характерных признаков образования высоких уровней приземного озона в теплый

сезон Рассмотрены эпизоды аномально высоких концентраций озона по наблюдениям в теплый сезон 1998-2001 гг на 32-х равнинных станциях умеренных широт стран Западной Европы - Германии, Великобритании, Ирландии, Дании, Нидерландов, Финляндии, Швеции, Норвегии, Польши, Литвы, Латвии Показано, что эпизоды с высокими концентрациями приземного озона в умеренных широтах зарубежной Европы наблюдались в однотипных синоптических ситуациях в малоградиентных барических полях или в теплом секторе на слабовыраженной окраине антициклона при аномально теплой погоде слабых ветрах и низкой относительной влажности воздуха. Все эпизоды высокого озона наблюдались в период с мая по сентябрь

Средние часовые концентрации в эпизодах высокого озона достигали экстремально высокого уровня и составили в Германии 229 мкг/м³, в Великобритании 222 мкг/м³, в Нидерландах 213 мкг/м³, в Дании 217 мкг/м³, в Финляндии 175 мкг/м³, на юге Швеции 220 мкг/м³, в Литве 179 мкг/м³, в Польше 193 мкг/м³

В подавляющем большинстве случаев максимальный уровень озона на материковых станциях наблюдался в послеполуденное время, в ночные часы содержание озона в приземном воздухе практически всегда понижалось В то же время на расположенных вблизи морского побережья территориях концентрации озона в рассматриваемых эпизодах нередко оставались высокими и в ночное время, что могло быть связано с бризовым эффектом Высокие концентрации приземного озона в ночное время указывают на адвективную природу явления - поступление антропогенного озона в приземный слой, благодаря сохранению термической неустойчивости в нижних слоях атмосферы

Пространственный анализ показал, что при благоприятной синоптической обстановке перенос озона с высокими концентрациями может происходить на расстояния порядка 1000 км

В Московском регионе за все время наблюдений за приземным озоном экстремально высокие концентрации, превышающие критерии безопасного уровня (ПДК=160 мкг/м³) или приближающиеся к ним, наблюдались только в период с конца марта по начало сентября (примечание приближающимся к ПДК уровнем считали концентрацию 128 мкг/м³ и выше)

Анализ эпизодов с повышенными и высокими концентрациями приземного озона в Москве показал, что в последние годы прослеживается тенденция увеличения числа эпизодов с высокими концентрациями озона, в засушливом 2002 году в Москве имели место четыре таких эпизода, в 2003 и 2005 годах - по одному, в 2004 году два, в 2006 году - 4 Отдельно отметим, что с марта по начало августа 2007 года в Москве наблюдалось уже 4 эпизода с повышенными и высокими концентрациями приземного озона.

Подробный анализ эпизодов с изучением изменчивости среднечасовых концентраций озона, суточного хода отдельных метеорологических характеристик и сопровождающих эпизод крупномасштабных атмосферных процессов позволил установить сходные синоптические условия и нехарактерные черты поведения приземного озона Показано, что летом в послеполуденные часы после прохождения внутримассовых осадков и короткопериодного установления в приземном слое устойчивой стратификации (со снижением приземных концентраций озона до 20-30 мкг/м³) в последующие 2-3 часа возможно восстановление концентраций до повышенных и высоких уровней

Впервые отмечен эпизод формирования высоких концентраций озона в московском регионе в первых числах мая 2006 года. Тогда высокие концентрации сформировались не только под влиянием благоприятных метеорологических условий, но и с участием адвекции загрязнений антропогенного происхождения из очагов пожаров. Все известные эпизоды с высокими концентрациями приземного озона до этого отмечались в конце мая и в летние месяцы.

Установлено, что синоптические предпосылки и сопутствующие метеорологические условия в эпизодах высокого озона в московском регионе в целом совпадают с характерным комплексом метеорологических параметров при высоком озоне в зарубежной Европе.

В теплый сезон формирование аномально высоких уровней приземного озона может быть обусловлено как локальными условиями, так и связано с адвекцией предшественников и озона из удаленных районов.

Все эпизоды высокого озона в теплый сезон сопровождаются слабыми ветрами в нижнем слое атмосферы, обусловленные малоградиентными барическими полями или перифериями барических образований.

При больших скоростях ветра в пограничном слое происходит увеличение приземных концентраций озона за счет интенсивного вертикального обмена и активизации притока тропосферного озона. В таких случаях концентрации приземного озона могут увеличиваться до 75-110 мкг/м³, характерных для свободной тропосферы.

Высокая температура воздуха (не менее +25°C) при малооблачной погоде и достаточном количестве солнечной радиации может являться предпосылкой для протекания интенсивных процессов генерации озона в фотохимических реакциях с предшественниками. В основном эпизоды высокого озона наблюдаются при аномально высокой температуре воздуха - выше средней многолетней не менее чем на 4-5°, но в эпизодах, обусловленных адвекцией загрязнений, температура может находиться в диапазоне обычных сезонных значений. Необходимым условием образования высоких концентраций озона является сочетание неблагоприятных метеорологических факторов: слабый ветер в пограничном слое атмосферы, положительная аномалия температуры.

Установлено, что в теплый сезон локальные внутримассовые осадки не являются препятствием для образования экстремально высоких уровней приземного озона, который может формироваться, как до, так и после их прохождения.

Анализ эпизодов повышенного и высокого содержания приземного озона, а также синоптических и метеорологических предпосылок позволил уточнить некоторые критерии идентификации комплекса метеорологических условий, сопутствующих различным уровням приземного озона, - метеорологического потенциала загрязнения озоном (МПЗ_{оз}). Установлено, что самые большие отклонения концентраций приземного озона от сезонного уровня связаны с определенным типом метеорологических условий. Типизация МПЗ_{оз} основана на связи аномалий погодных условий с аномалиями приземного озона. Используемые индексы МПЗ_{оз} могут быть предикторами в статистических расчетах.

Пятая глава посвящена выявлению количественных связей максимальных суточных концентраций озона с метеорологическими параметрами и разработке статистического метода прогнозирования максимальных уровней озона на территории г. Москвы.

Содержание озона в приземном воздухе имеет выраженный сезонный и суточный ход, что позволяет описывать его с помощью математических функций для каждого юлианского дня. Также содержание озона в приземном воздухе испытывает и непериодические изменения, обусловленные, в первую очередь, атмосферными процессами различного масштаба - от крупномасштабных, определяющих приток озона из верхних слоев тропосферы, - до локальных, в т.ч., процессов фотохимических взаимодействий озонотенерирующих газовых составляющих.

Впервые в России на примере г. Москвы была сделана попытка учесть и предсказать вариации приземного озона в мегаполисе. В зарубежных научных публикациях большинство работ посвящено сравнению приземного озона в городе и на станциях в сельской местности. Изменчивость приземного озона в большом городе рассматривается крайне редко, при этом указываются трудности, связанные с интерпретацией данных на территории одного города.

Решая задачу оценить возможность предсказания концентраций приземного озона в мегаполисе с заблаговременностью 1-2 суток, мы имели в виду, что в отсутствие данных об эмиссиях предшественников озона описать фотохимическую составляющую приземного озона, в какой-то степени возможно, применяя статистические подходы. Также используя статистический анализ, проводился отбор метеорологических характеристик, наиболее сильно влияющих на уровень озона.

Хотя в целом на территории города средний уровень озона в приземном воздухе обычно различается не более чем на 15-20 %, в часы послеполуденного максимума отличия в содержании озона в отдельных районах могут достигать 30-50 $\text{мкг}/\text{м}^3$, а при условиях, благоприятных для формирования высоких концентраций, - даже превышать 60-80 $\text{мкг}/\text{м}^3$ (40-45 %).

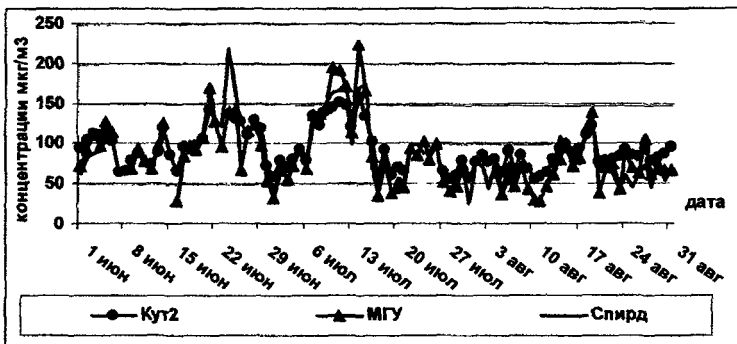


Рис 2 Максимальные концентрации приземного озона в июне-августе 2006 года на различных постах наблюдений АСКЗА в Москве

На рис 2 приводятся максимальные суточные концентрации O_3 в июне-августе 2006 года на трех станциях г. Москвы, которые подтверждают указанные выше количественные показатели достаточно высокой неоднородности поля приземного озона в мегаполисе при условиях, благоприятных для фотохимической генерации озона (например, 22 июня), и небольшие различия в отсутствии таких условий.

Разработанный статистический метод прогноза максимальных суточных концентраций приземного озона для г. Москвы построен на данных непрерывных наблюдений АСКЗА «Мосэкомониторинг» и данных станции ИФА РАН. Данные непрерывных измерений за загрязнением впервые использованы для анализа пространственной изменчивости и разработки прогностических уравнений для большого города. Прогностические уравнения получены для теплового периода с апреля по сентябрь, так как в холодный сезон в московском регионе максимальные суточные концентрации озона не превышают 80 мкг/м^3 , что наполовину меньше ПДК. В отличие от метода прогноза максимальных суточных концентраций приземного озона, разработанного в ЦАО (А.М. Звягинцев), кроме метеорологических характеристик в качестве предикторов привлечены и данные о концентрациях предшественников озона.

В качестве предиктанта в уравнениях использовались максимальные суточные концентрации озона. В качестве одного из предикторов была выбрана максимальная концентрация приземного озона в предшествующие прогнозу сутки. Для учета влияния уровня концентраций предшественников использованы данные о концентрациях CO , NO и NO_2 . Являясь предшественниками озона, эти газовые примеси, в количестве и составе определяют степень генерации приземного озона.

Для описания влияния метеорологических факторов рассматривались 8 характеристик, отражающих состояние пограничного слоя атмосферы и крупномасштабной циркуляции: максимальная и минимальная температура, относительная влажность воздуха, скорость ветра, температура и скорость ветра на изобарической поверхности 925 гПа за два срока 00 ч и 12 ч. Впервые в качестве предиктора использован количественный показатель комплекса метеорологических условий - метеорологический потенциал загрязнения озона ($\text{МПЗ}_{\text{оз}}$).

Оценив неоднородность поля малых газовых примесей на территории города, сделан вывод, что единое уравнение для мегаполиса не применимо. Таким образом, расчеты проводились отдельно по каждой из выбранных четырех станций – ст. МГУ, ст. Новокосино, ст. Кутузовский проспект, ст. Марьинский парк.

Для всех станций были построены несколько уравнений с использованием метода множественной линейной пошаговой регрессии. По результатам анализа и статистическим коэффициентам моделей выбраны лучшие значимые уравнения.

На этапе отбора значимых уравнений проводилась оценка вклада каждого предиктора; предшественникам озона уделялось особое внимание. Поскольку содержание озона в конкретном пункте определяется не только местными условиями, но и переносом предшественников и самого озона, в ходе выбора статистически значимых прогностических уравнений проводились эксперименты по их оценке без привлечения предшественников. Безусловно, расчеты с привлечением только метеорологических характеристик - заведомо ухудшение качества прогноза за счет отказа от одного из значимых предикторов. Тем не менее, такие эксперименты оправданы; они ставили целью получить статистически значимые прогностические уравнения для прогнозирования максимальной концентрации озона на вторые сутки, когда неизвестно содержание газовых предшественников озона. Отметим, что в настоящее время прогнозирование концентраций CO , NO , NO_2 в оперативной практике не проводится. Для всех станций получены значимые уравнения, описывающие в среднем до 80 % дисперсии.

Испытания метода прогноза максимальных уровней приземного озона в теплый сезон в Москве проводились на независимой выборке данных непрерывных

наблюдений АСКЗА и ИФА РАН за 2006 год. В апреле – сентябре 2006 года отмечено три эпизода аномально высоких концентраций приземного озона; в рассматриваемом временном интервале, также в сезоне отмечались и периоды с низким содержанием приземного озона. Таким образом, теплый сезон 2006 года явился очень хорошим периодом для испытания метода, поскольку включал все многообразие метеорологических процессов, обуславливающих как аномальные, так и средние сезонные уровни приземного озона.

Оценка методического прогноза проводилась по следующим критериям: общий прогноз считается оправдавшимся, если величина отклонения прогноза от измеренного значения составляет не более 20 % от предельно допустимых концентраций (160 мкг/м³).

Для формирования независимой выборки были выбраны шесть станций наблюдений за приземным озоном – ул. Спиридоновка, Кутузовский пр., Марьинский парк, ул. Туристическая, и две станции МГУ (ИФА РАН и ГПУ «Мосэкомониторинг»).

Из уравнений, рассчитанных по данным станции Новокосино, к испытаниям на независимом ряде принято уравнение, включающее максимум концентрации озона накануне, разность минимальной и максимальной температур, МПЗ_{оз} MPZ, концентрацию NO в 9ч текущих суток (уравнение 1):

$$C_{\max} = a_1 C_{\max(d-1)} + a_2 \Delta T + a_3 MPZ + a_4 U_{NO(9)} + a_5 \quad (1)$$

В этом уравнении основной вклад несет максимум предшествующего дня ($C_{\max(d-1)}$). Разность температур (ΔT) может скорректировать значения на величину от 3 до 45 мкг/м³. При переходе кода МПЗ (MPZ) от средне сезонных к повышенным значениям, добавка к значению концентраций может составить 28-47 мкг/м³. Член уравнения, отвечающий за вклад предшественников озона ($U_{NO(9)}$) при неблагоприятных метеорологических условиях может внести поправку до 17-33 мкг/м³. Это уравнение показало лучшую оправдываемость для городских станций жилого и смешанного типа. Для станции примагистрального типа (Кутузовский пр.) самым успешным признано уравнение, полученное по наблюдениям на самой станции (средняя оправдываемость прогнозов более 95 %).

По результатам оценки прогнозов по всем станциям на текущий день методический прогноз имеет лучшую оправдываемость, чем прогноз на сегодня максимума предшествующего дня. Для станций МГУ, ул. Спиридоновка, ул. Туристическая оправдываемость прогноза по уравнению (1) составляет 81-89 %.

На графиках соответствия (рис.3) измеренных и прогностических значений, видно, в целом разброс методического прогноза не велик. Максимальные отклонения приходятся на область высоких значений.

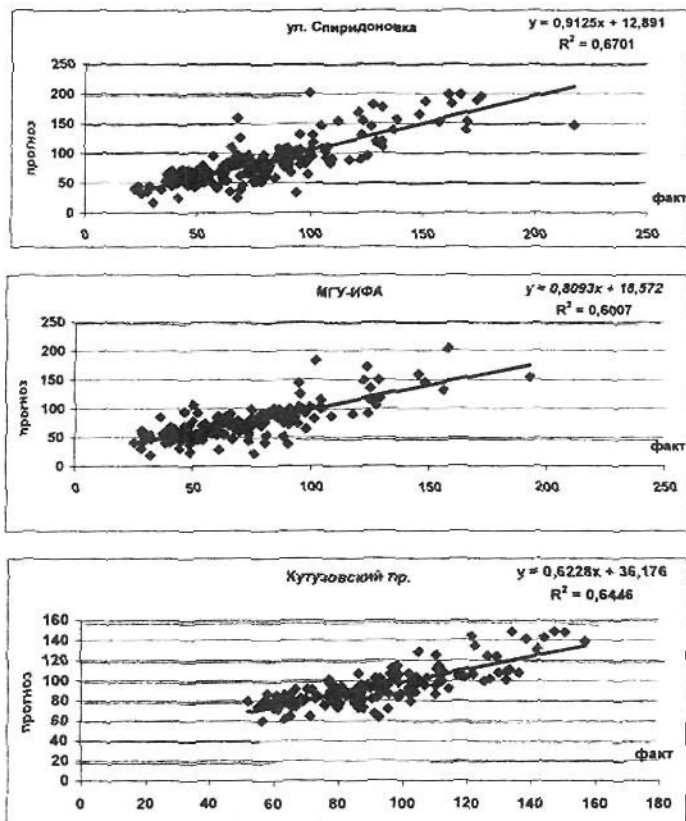


Рис. 3. Графики соответствия измеренных и прогностических значений максимальных концентраций приземного озона.

Для расчета максимальных концентраций озона на следующие сутки было выбрано уравнение, полученное по данным станции МГУ, в которое не входит максимум озона предшествующего дня и данные о предшественниках (уравнение 2):

$$C_{\max} = a_1 \Delta T + a_2 MPZ + a_3 H + a_4 T_{(0)} + a_5 \quad (2)$$

Средняя оправдываемость методического прогноза по уравнению (2) составила 83-87 %.

Полученные при выполнении данной работы прогностические уравнения для городских территорий с различной техногенной нагрузкой являются составной частью утвержденной ЦМКП Росгидромета «Методики краткосрочного прогноза максимальных концентраций приземного озона в г. Москве». Эта Методика в настоящее время проходит производственную апробацию в ГПУ

«Мосэкомониторинг» департамента природопользования и охраны окружающей среды при Правительстве г Москвы

В **Заключении** диссертационной работы сформулированы основные результаты

1 Сезонные и внутрисуточные закономерности изменчивости концентраций газовых примесей в городском воздухе, полученные по данным автоматических наблюдений на сети ГПУ «Мосэкомониторинг» и на станции экологического мониторинга ИФА РАН, отражают основные физические процессы в нижней атмосфере, определяющие рассеивание и перенос примесей. Это указывает на удовлетворительное качество данных автоматизированного мониторинга и на возможность исследований на их основе воздействия атмосферных процессов разного временного масштаба

2 Используя данные непрерывных наблюдений, впервые получены характеристики сезонной и внутрисуточной изменчивости концентраций приземного озона в различных районах г Москвы

3 Представлены результаты анализа сезонных и внутрисуточных изменений газовых составляющих совместно с обуславливающими их метеорологическими характеристиками (скорость переноса в пограничном слое атмосферы, слой перемешивания, повторяемость приземных и приподнятых инверсий, температурная стратификация) соответственных временных осреднений

4 Получены оценки взаимной связи первичных и вторичных загрязняющих примесей на станциях города с различной техногенной нагрузкой. Показано, что средняя концентрация окиси углерода (СО), рассчитанная по данным измерений на станциях удаленных от прямых источников (за исключением фоновых), является надежным маркером городского загрязнения и лучше чем другие показатели загрязнения, отзывается на изменения метеорологических условий

5 С использованием средних суточных и средних часовых концентраций СО проведена верификация комплексного показателя метеорологических условий рассеивания примесей (МПЗ). Установлено МПЗ лучше всего описывает изменчивость загрязнения на станциях смешанного влияния, т.е. адекватно описывает атмосферные процессы, определяющие рассеивание примесей на большей части мегаполиса

6 Представлены результаты изучения связей максимальной суточной концентрации приземного озона с метеорологическими характеристиками в т.ч. с типом барического поля, которые стали основой для разработки статистического метода прогноза приземного озона

7 Получены статистически значимые прогностические регрессионные уравнения для расчета максимальных суточных уровней приземного озона в районах города с различной техногенной нагрузкой. Оценки успешности разработанного статистического метода прогноза максимальных концентраций приземного озона на текущие и следующие сутки показали, что погрешности полученных уравнений значительно меньше величины природной изменчивости

Основные научные результаты, полученные в процессе исследования опубликованы в следующих работах

1 Кузнецова И Н Еланский Н Ф, Шалыгина И Ю, Кадыгров Е Н, Лыков А Д "Инверсии температуры и их влияние на концентрацию приземного озона в окрестностях Кисловодска" *Метеорология и гидрология*, 2002, № 9, сс 40-51

2 Звягинцев А М, Иванова Н С, Крученицкий Г М, Шалыгина И Ю, Демин В И Содержание озона над территорией Российской Федерации в первом квартале 2004 г *Метеорология и Гидрология*, 2004 № 6, сс 113-117

3 Звягинцев А М, Иванова Н С Крученицкий Г М Шалыгина И Ю, Демин В И Мокров Е Содержание озона над территорией Российской Федерации во втором квартале 2004 г *Метеорология и Гидрология*, 2004 № 8, сс 119-124

4 Шалыгина И Ю О связях опасных концентраций озона с метеорологическими условиями Международная конференция по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды «ENVIROMIS 2004» Томск, 2004, с 50

5 Шалыгина И Ю Метеорологические условия в эпизодах высоких концентраций приземного озона в Западной Европе VIII Всероссийская конференция молодых ученых «Состав атмосферы и электрические процессы» Москва, 2004, с 26

6 Звягинцев А М, Иванова Н С, Какаджанова Г Б, Крученицкий Г М, Шалыгина И Ю Демин В И, Жамсуева Г С Содержание озона над территорией Российской Федерации во втором квартале 2005 г *Метеорология и Гидрология*, 2005 № 8, сс 115-120

7 Звягинцев А М, Иванова Н С, Крученицкий Г М, Шалыгина И Ю, Демин В И Содержание озона над территорией Российской Федерации в первом квартале 2006 г *Метеорология и Гидрология*, 2006 № 5, сс 111-114

8 Шалыгина И Ю Согласование классификации метеорологических условий с данными загрязнения воздуха X Всероссийская конференция молодых ученых «Состав атмосферы Климатические эффекты Атмосферное электричество» Москва, 2006, с 26

9 Нахаев М И, Шалыгина И Ю Лезина Е А Загрязнение воздуха в период продолжительных инверсий температуры X Всероссийская конференция молодых ученых «Состав атмосферы Климатические эффекты Атмосферное электричество» Москва, 2006, с 21

10 Shalygina I Yu Validated classifications of meteorological conditions on data of air pollution in Moscow International conference on environmental observations, modeling and informational systems «ENVIROMIS 2006» Tomsk, 2006, p 69

11 Nakhaev M I Shalygina I Yu Lezina E A Winter episodes of high air pollution in Moscow International conference on environmental observations, modeling and informational systems «ENVIROMIS 2006» Tomsk 2006, p 114

12 Шалыгина И Ю, Лезина Е А Модельные оценки вклада атмосферных процессов в изменчивость малых газовых примесей в г Москве XI Всероссийская конференция молодых ученых «Состав атмосферы Атмосферное электричество/ Климатические эффекты» Нижний Новгород, 2007, с 42

13 Шалыгина И Ю Кузнецова И Н Нахаев М И Лезина Е А, Звягинцев А М О прогнозировании приземного озона в большом городе (на примере Москвы) *Оптика атмосферы и океана*. Том 20 2007г № 07 сс 651-658

14 Звягинцев А М , Журавлева В А , Иванова Н С , Крученицкий Г М Шалыгина И Ю Содержание озона над территорией Российской Федерации во втором квартале 2007 г Метеорология и Гидрология 2007 № 8 (в печати)

Отпечатано в ООО «Компания Спутник+»
ПД № 1-00007 от 25 09 2000 г
Подписано в печать 15 08 07
Тираж 100 экз Усл пл 1,18
Печать авторефератов (495) 730-47-74, 778-45-60