

Выделение антропогенного вклада в изменение температуры, влажности, газового и аэрозольного состава городского воздуха

Н.В. Ужегова, П.Н. Антохин, Б.Д. Белан, Г.А. Ивлев,
А.В. Козлов, А.В. Фофонов*

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1*

Поступила в редакцию 19.01.2011 г.

С помощью мобильной станции проведено исследование качества воздуха в г. Томске. Выяснилось, что город является не только «островом тепла», но и «островом загрязнения». Концентрации примесей в центре значительно выше показателей фоновой точки. На основных магистралях города наблюдается существенное превышение среднесуточного значения предельно допустимой концентрации, а также по некоторым показателям и максимально разового. Кроме того, выявлен дополнительный источник водяного пара в городе.

Ключевые слова: антропогенный, атмосфера, аэрозоль, воздух, газ, город, загрязнение, карта, мобильная станция, пригород, примеси, распределение; anthropogenic, atmosphere, aerosol, air, gas, city, pollution, a map, mobile station, urban, suburban, distribution.

Введение

В настоящее время имеется достаточно много исследований, посвященных анализу распределения температуры, влажности, газового и аэрозольного состава на городской территории. Большинство из них опираются на данные, полученные на стационарных метеостанциях и постах наблюдений. Как правило, для исследования метеопараметров атмосферы используются две метеостанции, расположенные одна в черте города и вторая в пригородном районе [1–8]. Такие исследования позволяют оценить только временные изменения атмосферы. Для изучения газового и аэрозольного состава воздуха обычно используются данные стационарных постов наблюдения, находящихся в черте города [9, 10].

Измерительную аппаратуру, как правило, устанавливают в наиболее загрязненных районах вблизи главных автострад, что не позволяет проводить пространственного исследования атмосферы города. Кроме того, результаты измерений на таких постах оказываются «завышенными» по отношению к средним условиям на территории города. Для организации пространственно распределенной сети постов наблюдений на территории города требуются существенные затраты. Так, например, в г. Сеул

(Южная Корея) с середины 90-х гг. действует автоматическая сеть метеорологических станций [11], состоящая из пяти постов наблюдений в черте города и шести постов в пригороде, что позволяет производить как временные, так и пространственные исследования острова тепла.

В штате Джорджия (США) помимо национальной метеорологической службы (NWS) с 1991 г. действует автоматизированная сеть мониторинга окружающей среды (AEMN), которая к 2004 г. насчитывала 60 постов наблюдений как в урбанизированных, так и в пригородных районах [12]. Такое техническое оснащение дает возможность проведения многочисленных исследований, направленных на изучение влияния человека на окружающую среду не только в пределах одного города, но и региона в целом. Так, в 1996 г. был запущен проект ATLANTA [13, 14], целью которого было исследование регионального климата и качества воздуха г. Атланта (США).

В России подобные крупные проекты осуществлялись только во времена СССР. Так, например, в 70-х гг. XX в. была осуществлена программа Комплексного энергетического эксперимента КЭНЭКС [15]. В рамках этой программы было предусмотрено проведение экспедиции КЭНЭКС-72 в условиях крупного города [16], цель которой заключалась в исследовании загрязнения воздушного бассейна, метеорологического режима города и определяющих его факторов. Для наблюдений использовались 12 автомашин, 2 вертолета (Ми-1) и самолет-лаборатория Главной геофизической обсерватории

* Нина Викторовна Ужегова (unv@iao.ru); Павел Николаевич Антохин (arn@iao.ru); Борис Денисович Белан (bbd@iao.ru); Георгий Алексеевич Ивлев (ivlev@iao.ru); Артем Владимирович Козлов (artem@iao.ru); Александр Владиславович Фофонов (alenfo@iao.ru).

им. А.И. Воейкова (Ил-18), группа ученых насчитывала более 200 человек. Подобные способы исследования городской атмосферы весьма эффективны, однако требуют существенных финансовых ресурсов, поэтому для большинства городов неприемлемы.

Наиболее доступной альтернативой пространственного исследования атмосферы города может быть использование мобильных станций в дополнение к уже существующим стационарным метеостанциям и постам наблюдений за качеством городского воздуха. Первые исследования атмосферы города с помощью мобильных станций относятся к середине XX в. [17]. На тот момент технических возможностей было недостаточно для проведения комплексного исследования атмосферы города, поэтому задача сужалась лишь до измерений температуры и влажности воздуха. Так, например, в своих работах Корес [18, 19] описывал маршрутные исследования горизонтального распределения температуры и влажности воздуха в г. Чапел-Хилл (США). Результаты записывали на карту города вручную через каждые 15 м на остановках мобильной станции, затем наносили изолинии. В результате были получены пространственные изображения островов тепла и влаги.

Подобный метод исследования отдельных характеристик атмосферы города производится и в наши дни [20–28]. Основными отличиями современных исследований от первоначальных являются усовершенствование измерительной аппаратуры и автоматизация измерений. В настоящее время многие исследователи используют мобильные лаборатории, способные проводить комплексное изучение атмосферы города.

В 1990 г. в Массачусетском технологическом институте была создана мобильная лаборатория (ML) на шасси Ford Econoline 350 [29]. ML способна проводить комплексное исследование приземного слоя атмосферы, в котором определяются распределение температуры и влажности воздуха, а также аэрозольный и газовый состав (CO_2 , HONO , CO , NO_x , CH_4 , N_2O , C_2H_6 , SO_2 , H_2CO , NH_3). С помощью мобильной станции были проведены исследования атмосферы мегаполисов, таких как Нью-Йорк и Бостон, а также выполнена масштабная программа MCMA (Mexico City Metropolitan Area), объединившая большое количество ученых из США и Мексики [30–36].

В начале 2000-х гг. в Калифорнийском университете (США) была создана мобильная лаборатория MEL (Mobile Emissions Laboratory) на шасси 16-метрового трейлера-рефрижератора [37, 38]. MEL способна проводить комплексное исследование приземного слоя атмосферы: температура и влажность воздуха, аэрозольный и газовый состав (CO_2 , O_2 , CO , NO_x , CH_4 , общее содержание углеводов). Идея создания MEL заключалась в оценке загрязнения воздуха непосредственно на автострадах окислами азота и аэрозолями, главным источником которых в Калифорнии является большегрузный дизельный транспорт. Исследования проводились

на автострадах возле г. Соктон (Калифорния, США) [39, 40].

Подобные мобильные измерительные комплексы создаются и используются также в Швейцарии [41], Великобритании [42], Финляндии [43, 44], Китае [45, 46]. Применяется он и в России. Так, в г. Красноярске в период с 2001 по 2005 г. выполнены исследования сезонных различий концентраций вредных веществ в атмосфере города [47]. Авторами настоящей статьи с помощью мобильной лаборатории были выполнены исследования атмосферы 11 сибирских городов [48–50].

Цель данной работы заключается в выделении антропогенного вклада в изменение температуры, влажности, газового и аэрозольного состава воздуха г. Томска, а также в оценке эффективности метода анализа городской атмосферы с помощью мобильной станции.

1. Место и методы исследований

Томск расположен на юге Западной Сибири (административный центр Томской области). Площадь города 294,6 км². Население 528,6 тыс. человек (на 2009 г.), при этом с 2005 г. количество жителей города увеличилось на 19 тыс. человек [51].

Для исследования использовалась мобильная станция АКВ-2 на шасси автомобиля ГАЗ-66 КУНГ, созданная в 2004 г. в Институте оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН. Комплекс оборудования станции в автоматическом режиме позволяет каждую секунду измерять температуру и влажность воздуха, скорость и направление ветра, суммарную солнечную радиацию, дисперсный состав аэрозоля, концентрацию газов NO , NO_2 , O_3 , SO_2 , CO , CO_2 [48].

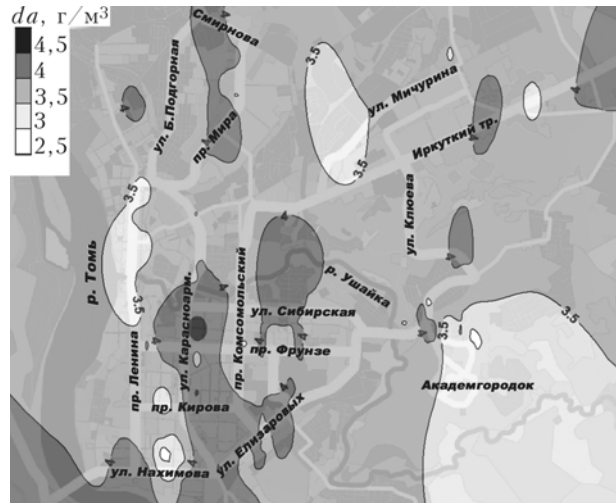
В настоящей статье приводятся результаты эксперимента, проведенного в г. Томске 14.05.2009 (четверг) с 15:00 до 17:30 местного времени. Погодные условия: ясно, без осадков. Выбор времени суток соответствовал наилучшим условиям естественного очищения воздуха. В теплый сезон года к середине дня температурная инверсия в приповерхностном слое воздуха обычно исчезает и конвекция становится более интенсивной [52]. Вследствие этого увеличивается высота слоя перемешивания, в котором осуществляется интенсивный вертикальный обмен.

Движение мобильной станции по городу осуществлялось в виде змейки и охватывало все главные магистрали города. Проведение измерений по ходу движения мобильной станции АКВ-2 и оптимизация маршрута движения, обеспечивающая высокую плотность отсчетов, дают возможность построения карт распределения метеопараметров и примесей воздуха с использованием современного программного обеспечения [50]. С учетом розы ветров было выбрано место измерения, соответствующее фоновым значениям характеристик атмосферы. Антропогенный вклад dX в изменение характеристики X определялся вычитанием фонового значения из городских измерений $dX = X_{\text{город}} - X_{\text{фон}}$.

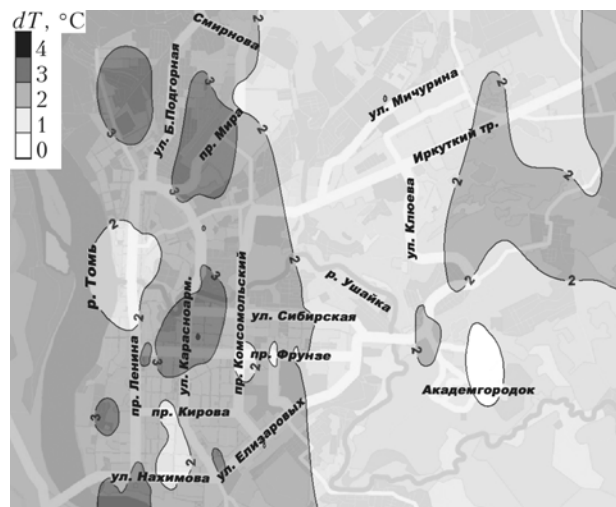
2. Результаты измерений и обсуждение

Температурный и влажностный режимы

Исследование показало, что в Томске наблюдался избыток влаги (рис. 1, а).



а



б

Рис. 1. Распределение антропогенной составляющей абсолютной влажности воздуха (а) и температуры воздуха (б)

Абсолютная влажность a в городе превышала фоновое значение в среднем на $3,9 \text{ г/м}^3$. В то же время в ряде исследований выявлено, что для подобных погодных условий и времени суток характерно уменьшение влажности в городе по сравнению с пригородными территориями [52, 53]. Считается, что главным фактором уменьшения влажности в городе является радикальное изменение свойств подстилающей поверхности по сравнению с территориями сельской местности. Подстилающая поверхность в городе преимущественно водонепроницаема и способствует быстрому удалению осадков в канализацию.

Томск в отличие от других городов обладает особенным типом застройки и подстилающей поверхности. Значительная площадь города (в том числе и центр) застроена деревянными домами. Асфальтированная часть поверхности незначительна. Дерево в отличие от других строительных материалов имеет свойство хорошо впитывать влагу и отдавать ее продолжительное время. Также Томск имеет довольно много растительности. Таким образом, свойства подстилающей поверхности и эвапотранспирация не сильно отличаются в Томске и на пригородных территориях.

Вместе с тем в городе присутствует дополнительный антропогенный источник водяного пара. При сжигании всех видов топлива (уголь, нефть, природный газ) наряду с газообразными и твердыми примесями образуется значительное количество водяного пара (при сгорании 1 кг бензина – 1,3 кг, 1 кг природного газа – 2 кг) [54]. Анализ показывает, что области максимальных значений антропогенного вклада в абсолютную влажность воздуха da ($> 4 \text{ г/м}^3$) обнаружены на ул. Льва Толстого, Красноармейская, Большая Подгорная, пр. Мира – районы деревянной застройки и интенсивного автомобильного трафика.

В температурном режиме атмосферы Томска (рис. 1, б) также выявились некоторые особенности и отличия от данных [52]. Выбранный маршрут исследования атмосферы, плотно охватывающий площадь города, позволил зафиксировать четкие границы городского острова тепла, которые совпали с границами наиболее оживленных районов города. Результаты показали, что в среднем температура T в Томске выше окружающих его территорий на $2,3 \text{ °C}$ (таблица).

Фоновые значения $X_{\text{фон}}$, а также городские показатели, усредненные по всему маршруту движения мобильной станции в городе \bar{X} , минимальные X_{min} и максимальные X_{max} значения содержания примесей в городском воздухе

Характеристика	$X_{\text{фон}}$	\bar{X}	X_{min}	X_{max}	ПДК _{сс}	ПДК _{мп}
$T, \text{ °C}$	12,8	15,1	12,7	17,1	—	—
$a, \text{ г/м}^3$	3,2	7,1	5,9	8,2	—	—
$\text{NO}, \text{ мкг/м}^3$	1,8	89,5	6,0	292,8	60	400
$\text{NO}_2, \text{ мкг/м}^3$	8,9	50,1	9,9	113,5	40	85*
$\text{CO}, \text{ мг/м}^3$	0,1	1,8	0,4	5,6	3	5
$\text{O}_3, \text{ мкг/м}^3$	84,4	24,5	5,9	86,4	30	160

* До 2006 г., в настоящее время 200 мкг/м^3 .

Факт наличия в городах острова тепла доказан давно. Основными факторами формирования острова тепла в городе являются антропогенное преобразование подстилающей поверхности (уменьшение альбедо) [52], антропогенный выброс тепла [55], а также дополнительное поглощение солнечной радиации за счет повышенного содержания водяного пара [56]. Известно, что городской остров тепла подвержен периодическим изменениям, таким как, например, суточный ход.

В работе [52] Ландсберг указывает на то, что летом после полудня даже в ясную безветренную погоду температурных различий между городом и пригородом почти не наблюдается. Как указывалось выше, в Томске фактор изменения подстилающей поверхности играет второстепенную роль, а антропогенный выброс тепла летом незначителен [55]. Так как в атмосфере Томска обнаружен существенный избыток влаги, то основным фактором увеличения температуры воздуха в дневное время суток можно считать поглощение радиации водяным паром. Тем более что области превышения температуры более чем на 3 °С почти полностью повторяют области максимальных значений водяного пара: ул. Большая Подгорная, пр. Мира, ул. Красноармейская. Здесь разница температур dT между городом и пригородом имеет максимальные значения и составляет 4,3 °С.

Минимальные значения dT обнаружены в районе Академгородка, где также было зафиксировано минимальное количество водяного пара. Этот район по своим морфологическим характеристикам аналогичен месту измерения фоновых значений. Также минимальные значения dT и da зафиксированы в районе ул. Вершинина, что можно объяснить ее выходом на обрывистый берег р. Томь и соответственно хорошей продуваемостью.

Газовый и аэрозольный состав

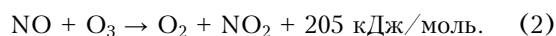
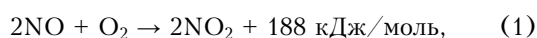
Автомобильный транспорт считается основным источником загрязнения атмосферы города. По данным Главного управления ГИБДД по Томской области, общее количество зарегистрированных автомобилей в городе в 2008 г. составило 131770 единиц. С 2002 по 2008 г. количество транспорта в Томске увеличилось на 23% (25 тыс. единиц) [55]. Рост произошел в основном за счет личного легкового транспорта. По данным Росстата, с 2004 по 2007 г. в потреблении топлива средними и крупными предприятиями города, а также автотранспортом тоже имеется положительный тренд. Расход топлива за этот период увеличился на 10%. Это дает основание говорить о том, что в последнее время наблюдается существенное увеличение вредных выбросов в атмосферу за счет сжигания топлива.

В настоящей статье приведены результаты исследования содержания в городском воздухе угарного газа CO, оксида азота NO, диоксида азота NO₂ и озона O₃, внесенных Всемирной организацией здравоохранения в список основных веществ, загрязняющих воздух [57]. Повышенный интерес к этим газам основывается на их высокой токсичности для человека.

В таблице приведены фоновые $X_{\text{фон}}$, минимальные X_{min} и максимальные X_{max} значения содержания примесей в воздухе, а также значения \bar{X} , усредненные по всему маршруту движения мобильной станции в городе. Для сравнения здесь же приведены среднесуточные и максимально разовые значения предельно допустимой концентрации (ПДК_{сс} и ПДК_{мр}).

В пространственном распределении содержания в воздухе оксида азота (рис. 2, а) четко выделились две области с превышением ПДК_{сс} в 2–4 раза. Это районы с наиболее интенсивным движением: территория, ограниченная пр. Фрунзе, ул. Красноармейской, Шевченко, Елизаровых, и участок пр. Мира и ул. Смирнова, а также район ул. Балтийской, где велись интенсивные работы по строительству новой транспортной развязки.

Антропогенными источниками поступления окиси и двуокиси азота в атмосферу являются выбросы продуктов высокотемпературного сгорания топлива (выхлопные газы автотранспорта, выбросы промышленных предприятий и тепловых электростанций) [10]. Кроме того, NO₂ образуется в шлейфах выбросов в ходе химических реакций за счет окисления молекулы NO кислородом или озоном [58]:

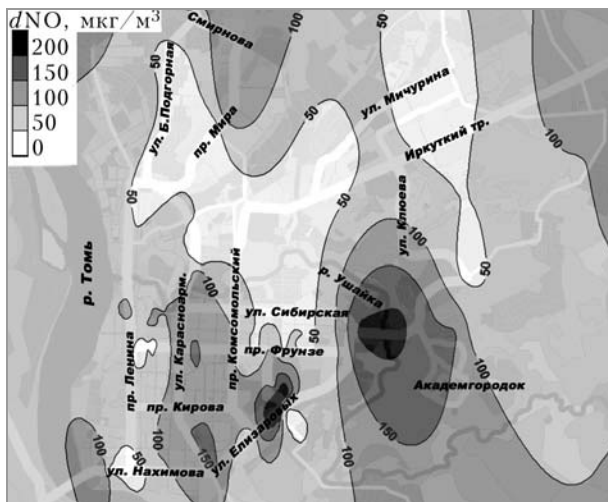


Минимальные значения $d\text{NO}$ обнаружены на улицах с малоинтенсивным движением: ул. Мичурина, Клюева, Льва Толстого, Рабочая. Кроме того, минимальные значения $d\text{NO}$ наблюдались также на Иркутском тракте с высокой интенсивностью движения. Это можно объяснить тем, что на экологическую ситуацию в городе оказывает влияние не только количество транспорта, но и локальная циркуляция воздуха [50], которая весьма изменчива и зависит от организации застройки территорий, метеорологических условий, времени суток, антропогенного выброса тепла, орографии и других факторов. Низкое содержание примесей на Иркутском тракте можно объяснить его более высоким расположением относительно соседних районов города и, соответственно, хорошей продуваемостью.

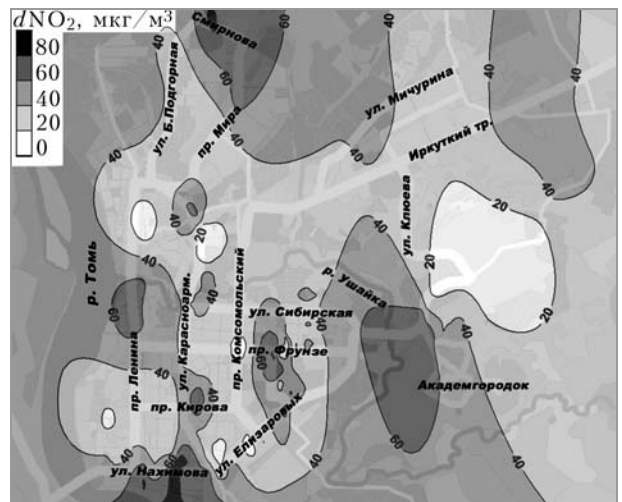
Исследование пространственного распределения содержания диоксида азота (рис. 2, б) показало, что кроме областей с превышением ПДК_{сс} в городе выделились районы с превышением максимально разового ПДК. Этими районами оказались: пересечения пр. Фрунзе и ул. Шевченко; ул. Смирнова и ул. Б. Подгорная; ул. Нахимова; ул. Беленца. Минимальные значения $d\text{NO}_2$, как и для оксида азота, наблюдались в районе ул. Клюева.

Величина концентрации озона (рис. 2, в) в атмосфере города обратно пропорциональна величине концентраций оксида азота, так как с участием NO в тропосфере реализуются химические реакции, приводящие к деструкции озона, например (2). Поэтому основная область, где концентрация озона превысила ПДК_{сс}, была обнаружена в районах с низкой концентрацией оксида азота.

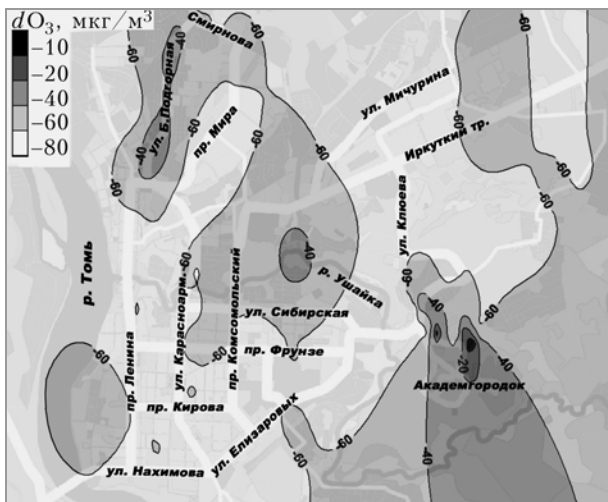
Высокое содержание озона в районе Академгородка (>3 ПДК_{сс}) можно объяснить наличием мощного источника газов-предшественников, из которых образуется озон. В районе Академгородка — это углеводороды, выделяемые окружающими его лесными массивами. Поскольку Академгородок принят за фоновую точку, где концентрация O₃ была весьма высокая и составляла 2 ПДК_{сс}, то $d\text{O}_3$ почти на всей территории города была отрицательная.



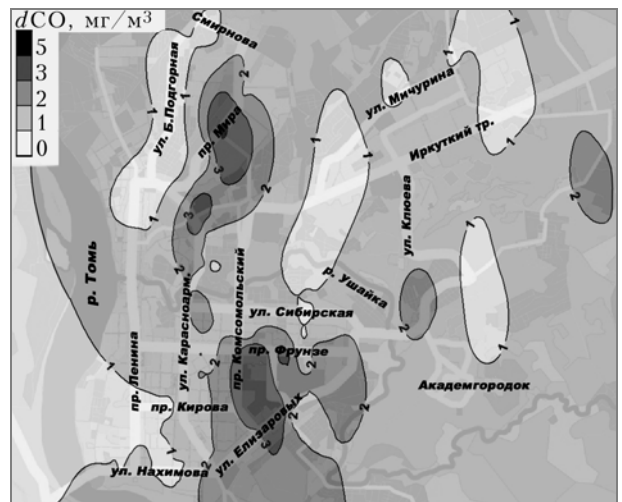
а



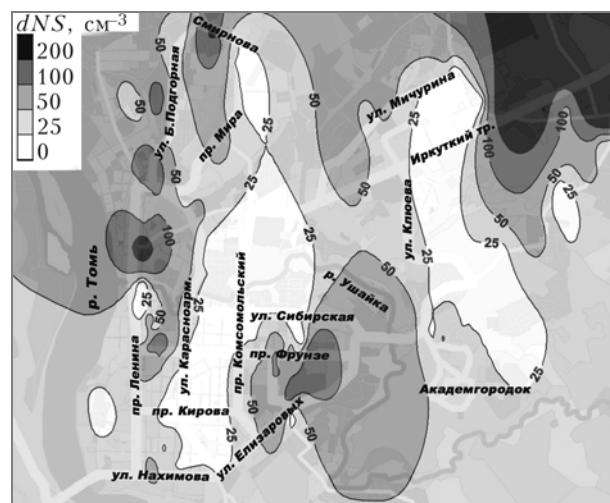
б



в



г



д

Рис. 2. Распределение антропогенной составляющей оксида азота (а), диоксида азота (б), озона (в), окиси углерода (г), счетной концентрации аэрозоля (д)

В распределении содержания монооксида углерода (рис. 2, з) были выявлены две наиболее загрязненные зоны. В районе, ограниченном ул. Шевченко, Елизаровых, пр. Фрунзе, Комсомольский, ПДК_{сс} было превышено в 1,5 раза. На пр. Мира было зафиксировано превышение ПДК_{мр}. Минимальные значения dCO наблюдались в районе Академгородка. Эти результаты подтверждают тот факт, что основным источником CO в городе является автомобильный транспорт.

Следует учитывать, что рассмотренные выше газы действуют на человека и окружающую среду не по отдельности, а в сложной смеси с другими загрязнителями, поэтому необходим комплексный подход для контроля загрязнений.

На рис. 2, д приведены пространственное распределение антропогенной составляющей счетной концентрации аэрозоля NS . Максимумы dNS соответствуют районам с высокой транспортной активностью: пл. Ленина, пр. Фрунзе, ул. Шевченко, ул. Смирнова.

На рис. 3 приведены счетная концентрация аэрозоля по всему спектру размеров частиц (левая шкала) и объемная концентрация аэрозоля (правая шкала).

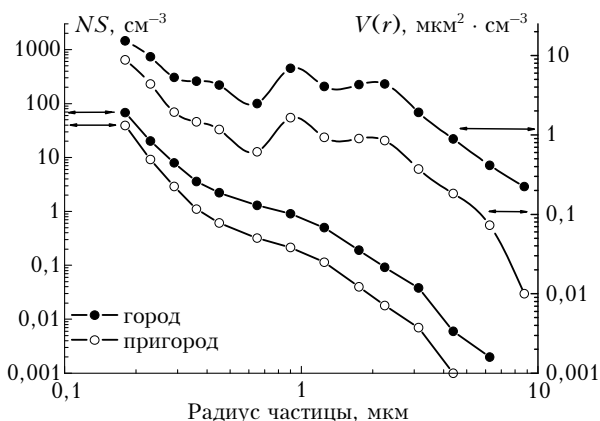


Рис. 3. Счетная концентрация аэрозоля по всему спектру размеров частиц (левая шкала), объемная концентрация аэрозоля (правая шкала)

Видно, что город вносит свой вклад в весь диапазон размеров частиц. При этом в городе объемная концентрация мелкодисперсных частиц в 2–3 раза, среднелдисперсных в 4–5 раз и крупнодисперсных в 25 раз выше, чем в пригороде.

Заключение

Из приведенных данных видно, что с помощью мобильной станции достаточно легко провести картирование распределения метеовеличин и примесей на территории и выявить наиболее загрязненные районы города.

Проведенный эксперимент показал наличие в Томске районов со значительными превышениями ПДК_{сс} и ПДК_{мр} по таким опасным загрязнителям,

как CO, NO, NO₂. Это районы с наиболее интенсивным автомобильным движением.

Кроме прямого антропогенного выброса тепла, в городе обнаружен дополнительный его источник. Это дополнительное поглощение солнечного излучения за счет повышенного содержания водяного пара. Такая особенность связана с морфологией города, характерной для множества российских городов, а именно с наличием дополнительной эвапотранспирации и добавлением антропогенного водяного пара от сгорания топлива в автомобильных двигателях.

Работа выполнена при поддержке программ Президиума РАН № 4, ОНЗ РАН № 5, грантов РФФИ № 11-05-00470, 11-05-00516, госконтрактов Минобрнауки РФ № 02.740.11.0674 и 14.740.11.0204.

1. Hage K.D. Urban-rural humidity differences // J. Appl. Meteorol. 1975. V. 14, N 7. P. 1277–1283.
2. Ackerman B. Climatology of Chicago area urban-rural differences in humidity // J. Clim. Appl. Meteorol. 1987. V. 26, N 3. P. 427–430.
3. Adebayo Y.R. Day-time effects of urbanization on relative humidity and vapour pressure in a tropical city // Theor. and Appl. Climatol. 1991. V. 43, N 1–2. P. 17–30.
4. Adebayo Y.R. «Heat island» in a humid tropical city and its relationship with potential evaporation // Theor. and Appl. Climatol. 1991. V. 43, N 3. P. 137–147.
5. Jauregui E., Tejada A. Urban-rural humidity contrasts in Mexico city // Int. J. Climatol. 1997. V. 17, N 2. P. 187–196.
6. Unger J. Comparisons of urban and rural bioclimatological conditions in the case of a Central-European city // Int. J. Biometeorol. 1999. V. 43, N 3. P. 139–144.
7. Holmer B., Eliasson I. Urban-rural vapour pressure differences and their role in the development of urban heat islands // Int. J. Climatol. 1999. V. 19, N 9. P. 989–1009.
8. Unkasevic M., Jovanovic O., Popovic T. Urban-suburban/rural vapour pressure and relative humidity differences at fixed hours over the area of Belgrade city // Theor. and Appl. Climatol. 2001. V. 68, N 1–2. P. 67–73.
9. Безуглая Э.Ю., Расторгуева Г.П., Смирнова И.В. Чем дышит промышленный город. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 255 с.
10. Ровинский Ф.Я., Егоров В.И. Озон, окислы азота и серы в нижней атмосфере. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 183 с.
11. Lee S.-H., Baik J.-J. Statistical and dynamical characteristics of the urban heat island intensity in Seoul // Theor. and Appl. Climatol. 2010. V. 100, N 1–2. P. 227–237.
12. Hoogenboom G. The Georgia automated environmental monitoring network // Proc. the 22nd AMS Conf. on Agriculture and Forest Meteorology. Atlanta. GA. 1996. P. 343–346.
13. Bornstein R., Lin Q. Urban heat islands and summertime convective thunderstorms in Atlanta: three case studies // Atmos. Environ. 2000. V. 34, N 3. P. 507–516.
14. Quattrochi D.A., Luvall J.C. High spatial resolution airborne multispectral thermal infrared data to support analysis and modeling tasks in EOS IDS Project ATLANTA. 1997. URL: <http://www.ghcc.msfc.nasa.gov/atlanta>

15. Кондратьев К.Я. Комплексный энергетический эксперимент (КЭНЭКС): Обзор ВНИИГМИ-МЦД. Обнинск, 1975. 75 с.
16. Берлянд М.Е., Кондратьев К.Я., Васильев О.Б., Васильченко И.В., Жвалев В.Ф., Зражевский И.М., Ивлев Л.С. Комплексное исследование особенностей метеорологического режима большого города на примере г. Запорожье (КЭНЭКС-72) // Метеорол. и гидрол. 1974. № 1. С. 14–23.
17. Duckworth F.S., Sandberg J.S. The effect of cities upon horizontal and vertical temperature gradients // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 1954. V. 35, N 2. P. 198–207.
18. Kopeck R.J. Further Observations of the Urban Heat Island in a Small City // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 1970. V. 51, N 7. P. 602–606.
19. Kopeck R.J. Daily spatial and secular variations of atmospheric humidity in a small city // J. Appl. Meteorol. 1973. V. 12, N 4. P. 639–648.
20. Steinecke K. Urban climatologically studies in the Reykjavik subarctic environment, Iceland // Atmos. Environ. 1999. V. 33, N 24–25. P. 4157–4162.
21. Klysiak K., Fortuniak K. Temporal and spatial characteristics of the urban heat island of Lodz, Poland // Atmos. Environ. 1999. V. 33, N 24–25. P. 3885–3895.
22. Deosthali V. Impact of rapid urban growth on heat and moisture islands in Pune City, India // Atmos. Environ. 2000. V. 34, N 17. P. 2745–2754.
23. Sofer M., Potchter O. The urban heat island of a city in an arid zone: the case of Eilat, Israel // Theor. and Appl. Climatol. 2006. V. 85, N 1–2. P. 1434–4483.
24. Sun Ch.-Y., Brazel A.J., Chow W.T.L., Hedquist B.C., Prashad L. Desert heat island study in winter by mobile transect and remote sensing techniques // Theor. and Appl. Climatol. 2009. V. 98, N 3–4. P. 323–335.
25. Lee S.-H., Lee K.-S., Jin W.-Ch., Song H.-K. Effect of an urban park on air temperature differences in a central business district area // Landscape Ecol. Eng. 2009. V. 5, N 2. P. 183–191.
26. Hart M.A., Sailor D.J. Quantifying the influence of land-use and surface characteristics on spatial variability in the urban heat island // Theor. and Appl. Climatol. 2009. V. 95, N 3–4. P. 397–406.
27. Saaroni H., Ben-Dor E., Bitan A., Potchter O. Spatial distribution and microscale characteristics of the urban heat island in Tel-Aviv, Israel // Landscape and Urban Planning. 2000. V. 48, N 1–2. P. 1–18.
28. Eliasson I. Urban nocturnal temperatures, street geometry and land use // Atmos. Environ. 1996. V. 30, N 3. P. 379–392.
29. Kolb C.E., Herndon S.C., McManus J.B., Shorter J.H., Zahniser M.S., Nelson D.D., Jayne J.T., Canagaratna M.R., Worsnop D.R. Mobile laboratory with rapid response instruments for real-time measurements of urban and regional trace gas and particulate distributions and emission source characteristics // Environ. Sci. Technol. 2004. V. 38, N 21. P. 5694–5703.
30. Jimenez J.L., McManus J.B., Shorter J.H., Nelson D.D., Zahniser M.S., Koplew M., McRae G.J., Kolb C.E. Cross road and mobile tunable infrared laser measurements of nitrous oxide emissions from motor vehicles // Chemosphere – Global Change Science. 2000. V. 2, N 3–4. P. 397–412.
31. Jiang M., Marr L.C., Dunlea E.J., Herndon S.C., Jayne J.T., Kolb C.E., Knighton W.B., Rogers T.M., Zavala M., Molina L.T., Molina M.J. Vehicle fleet emissions of black carbon, polycyclic aromatic hydrocarbons, and other pollutants measured by a mobile laboratory in Mexico City // Atmos. Chem. Phys. 2005. V. 5, N 12. P. 3377–3387.
32. Herndon S.C., Jayne J.T., Zahniser M.S., Worsnop D.R., Knighton W.B., Alwine E., Lamb B.K., Zavala M., Nelson D.D., McManus J.B., Shorter J.H., Canagaratna M.R., Onasch T.B., Kolb C.E. Characterization of urban pollutant emission fluxes and ambient concentration distributions using a mobile laboratory with rapid response instrumentation // Faraday Discuss. 2005. N 130. P. 327–339.
33. Zavala M., Herndon S.C., Slott R.S., Dunlea E.J., Marr L.C., Shorter J.H., Zahniser M.S., Knighton W.B., Rogers T.M., Kolb C.E., Molina L.T., Molina M.J. Characterization of on-road vehicle emissions in the Mexico City Metropolitan Area using a mobile laboratory in chase and fleet average measurement modes during the MCMA-2003 field campaign // Atmos. Chem. Phys. 2006. V. 6, N 12. P. 5129–5142.
34. Molina L.T., Kolb C.E., Foy B., Lamb B.K., Brune W.H., Jimenez J.L., Ramos-Villegas R., Sarmiento J., Paramo-Figueroa V.H., Cardenas B., Gutierrez-Avedoy V., Molina M.J. Air quality in North America's most populous city – overview of the MCMA-2003 campaign // Atmos. Chem. Phys. 2007. V. 7, N 10. P. 2447–2473.
35. Zavala M., Herndon S.C., Wood E.C., Onasch T.B., Knighton W.B., Marr L.C., Kolb C.E., Molina L.T. Evaluation of mobile emissions contributions to Mexico City's // Atmos. Chem. Phys. 2009. V. 9, N 17. P. 6305–6317.
36. Zavala M., Herndon S.C., Wood E.C., Jayne J.T., Nelson D.D., Trimborn A.M., Dunlea E., Knighton W.B., Mendoza A., Alle D.T., Kolb C.E., Molina M.J., Molina L.T. Comparison of emissions from on-road sources using a mobile laboratory under various driving and operational sampling modes // Atmos. Chem. Phys. 2009. V. 9, N 1. P. 1–14.
37. Cocker III, Shah S.D., Johnson K., Miller J.W., Norbeck J.M. Development and application of a mobile laboratory for measuring emissions from diesel engines. 1. Regulated gaseous emissions // Environ. Sci. Technol. 2004. V. 38, N 7. P. 2182–2189.
38. Cocker III, Shah S.D., Johnson K., Zhu X., Miller J.W., Norbeck J.M. Development and application of a mobile laboratory for measuring emissions from diesel engines. 2. Sampling for toxics and particulate matter // Environ. Sci. Technol. 2004. V. 38, N 24. P. 6809–6816.
39. Miller J.W., Durbin T.D., Johnson K. Evaluation of on road results from a test fleet of heavy-duty trucks. 2007. April. Final Report for the California Air Resource Board. Contract 01-340.
40. Durbin T.D., Johnson K., Miller J.W., Maldonado H., Chernich D. Emissions from heavy-duty vehicles under actual on-road driving conditions // Atmos. Environ. 2008. V. 42, N 20. P. 4812–4821.
41. Bukowiecki N., Dommen J., Prevot A.S.H., Richter R., Weingartner E., Baltensperger U. A mobile pollutant measurement laboratory-measuring gas phase and aerosol ambient concentrations with high spatial and temporal resolution // Atmos. Environ. 2002. V. 36, N 36–37. P. 5569–5579.
42. Seakins P.W., Lansley D.L., Hodgson A., Huntley N., Pope F. New Directions: Mobile laboratory reveals new issues in urban air quality // Atmos. Environ. 2002. V. 36, N 6. P. 1247–1248.
43. Pirjola L., Parviainen H., Hussein T., Valli A., Hameiri K., Aalto P., Virtanen A., Keskinen J., Pakkanen T.A., Makela T., Hillamo R.E. «Sniffer» – a novel tool for chasing vehicles and measuring traffic pollutants // Atmos. Environ. 2004. V. 38, N 22. P. 3625–3635.

44. Yli-Tuomi T., Aarnio P., Pirjola L., Makela T., Hiltamo R., Jantunen M. Emissions of fine particles, NO_x, and CO from on-road vehicles in Finland // Atmos. Environ. 2005. V. 39, N 35. P. 6696–6706.
45. Wang M., Zhu T., Zheng J., Zhang R.Y., Zhang S.Q., Xie X.X., Han Y.Q., Li Y. Use of a mobile laboratory to evaluate changes in on-road air pollutants during the Beijing 2008 Summer Olympics // Atmos. Chem. Phys. 2009. V. 9, N 21. P. 8247–8263.
46. Westerdahl D., Wang X., Pan X., Zhang K.M. Characterization of on-road vehicle emission factors and micro-environmental air quality in Beijing, China // Atmos. Environ. 2009. V. 43, N 3. P. 697–705.
47. Mikhailuta S.V., Taseiko O.V., Pitt A., Lezhenin A.A., Zakharov Y.V. Seasonal variations of air pollutant concentrations within Krasnoyarsk City // Environ. Monit. Assess. 2008. V. 149, N 1–4. P. 329–341.
48. Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К., Ивлев Г.А., Козлов А.В., Пестунов Д.А., Покровский Е.В., Симоненков Д.В., Ужегова Н.В., Фофанов А.В. Мобильная станция АКВ-2 и ее применение на примере г. Томска // Оптика атмосф. и океана. 2005. Т. 18, № 8. С. 643–648.
49. Белан Б.Д., Ивлев Г.А., Пирогов В.А., Покровский Е.В., Симоненков Д.В., Ужегова Н.В., Фофанов А.В. Сравнительная оценка состава воздуха промышленных городов Сибири в холодный период // Геогр. и природ. ресурсы. 2005. Спец. выпуск. С. 152–157.
50. Белан Б.Д., Ивлев Г.А., Козлов А.С., Маринайте И.И., Пененко В.В., Покровский Е.В., Симоненков Д.В., Фофанов А.В., Ходжер Т.В. Сравнительная оценка состава воздуха промышленных городов Сибири // Оптика атмосф. и океана. 2007. Т. 20, № 5. С. 428–437.
51. Паспорт муниципального образования: <http://www2.admin.tomsk.ru/>
52. Ландсберг Г.Е. Климат города. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 248 с.
53. Kuttler W., Weber S., Schonnefeld J., Hesselschwerdt A. Urban-rural atmospheric water vapour pressure differences and urban moisture excess in Krefeld, Germany // Int. J. Climatol. 2007. V. 27, N 14. P. 2005–2015.
54. Матвеев Л.Т., Матвеев Ю.Л. Формирование и особенности острова тепла в большом городе // Докл. РАН. 2000. Т. 370, № 2. С. 249–252.
55. Белан Б.Д., Пельмский О.А., Ужегова Н.В. Исследование антропогенной составляющей теплового баланса города // Оптика атмосф. и океана. 2009. Т. 22, № 6. С. 558–561.
56. Кондратьев К.Я., Матвеев Л.Т. Основные факторы формирования острова тепла в большом городе // Докл. РАН. 1999. Т. 367, № 2. С. 253–256.
57. WHO. Air quality guidelines. Geneva: World Health Organization, 1999. Downloaded in February 2002.
58. Белан Б.Д. Тропосферный озон. Ч. 6. Компоненты озоновых циклов // Оптика атмосф. и океана. 2009. Т. 22, № 4. С. 358–379.

N.V. Uzhegova, P.N. Antokhin, B.D. Belan, G.A. Ivlev, A.V. Kozlov, A.V. Fofonov. **Extraction of anthropogenic contribution to change of city's air temperature, humidity, gas and aerosol composition.**

A study of air qualities has been done in Tomsk with a mobile measurement station. Suburban point of measurements was chosen to compare with urban characteristics. It is shown that a modern industrial city is not only a "heat island", but also a "pollution island". Admixtures concentration in city's center is much higher than in its periphery. Air pollution concentrations exceeded 2–3 times maximum permissible concentration in the main roads. In addition, the supplementary source of water vapor was detected in the city.