

**КОНФЕРЕНЦИЯ D**

**ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ И КЛИМАТ**

# АНАЛИЗ НАБЛЮДЕНИЙ И РЕЗУЛЬТАТОВ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В УСЛОВИЯХ СЛАБОГО ВЕТРА В ТОМСКЕ

А.В. Старченко<sup>1,2</sup>, А.А. Барт<sup>1</sup>, Л.И. Кижнер<sup>1</sup>, Н.К. Барашкова<sup>1</sup>, М.А. Волкова<sup>1</sup>,

Г.Г. Журавлев<sup>1</sup>, И.В. Кужевская<sup>1</sup>, М.В. Терентьева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет

<sup>2</sup>Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия

[starch@math.tsu.ru](mailto:starch@math.tsu.ru), [baza@math.tsu.ru](mailto:baza@math.tsu.ru), [kdm@mail.tsu.ru](mailto:kdm@mail.tsu.ru), [nkbar@sibmail.com](mailto:nkbar@sibmail.com), [mv2101@mail.ru](mailto:mv2101@mail.ru),  
[ggz50@mail.ru](mailto:ggz50@mail.ru), [ivk@ggf.tsu.ru](mailto:ivk@ggf.tsu.ru), [mariya-terenteva@mail.ru](mailto:mariya-terenteva@mail.ru)

Ключевые слова: загрязнение атмосферы, мезомасштабная модель, фотохимическая модель, наблюдения за состоянием атмосферы

Аннотация. Представлены результаты расчета метеорологических условий с использованием модели TSU NM3 и прогноза некоторых показателей загрязнения атмосферного воздуха в городе Томске на основе фотохимической модели. Результаты расчетов сравнены с фактическими данными, характеризующими состояние атмосферы и содержание примесей.

Формирование загрязнения атмосферного воздуха в городах зависит от многих факторов. Наиболее важными из них являются выбросы промышленных предприятий, автотранспорта и метеорологические условия: направление и скорость ветра, температура воздуха, стратификация температуры, туманы, осадки, определяемые синоптическими условиями. Кроме этого, существенное влияние на рассеивание примесей оказывают физико-географические условия местности, а также высота застройки, ширина и направление улиц, зеленые массивы и водные объекты, которые образуют разные формы наземных препятствий воздушному потоку и приводят к возникновению особых метеорологических условий в городе.

Одним из преимуществ численного моделирования атмосферных процессов является возможность более детального исследования отдельных процессов во времени и пространстве.

В работе приведены результаты численного моделирования метеорологических условий, наблюдавшихся в Томске в октябре 2012 г. и характеризующихся слабым ветром.

Расчет метеорологических характеристик проводился с использованием мезомасштабной негидростатической модели TSU-NM3 [1]. Проведены сравнения рассчитанных и измеренных метеорологических характеристик.

Наблюдавшиеся метеорологические условия анализировались по данным ТОР-станции СО РАН (восточная окраина города), метеостанции WXT520 ИМКЭС СО РАН и оперативных наблюдений на АМСГ в районе аэропорта Богашево (юго-восточные окрестности города), а

также метеостанции Томск (#29430, 56°26'N 84°58'E, южная часть города). В аэропорту Богашево в это время использовался температурный профилемер МТП-5, данные которого также были привлечены для построения фактических вертикальных профилей температуры.

Для прогноза загрязнения атмосферного воздуха в Томске использовалась фотохимическая модель [2], в которой на основе рассчитанных метеорологических полей выполнена оценка распространения примесей от источников, расположенных в черте города. Период проведения численного и экспериментального исследования погоды и качества воздуха в Томске – 10–11, 13–14 октября 2012 г.

Оценка результатов расчета по фотохимической модели выполнена с использованием данных постов наблюдения за загрязнением (ПНЗ) и наблюдений на базовом экспериментальном комплексе (БЭК) ИОА СО РАН.

В Томске функционирует 6 стационарных ПНЗ, находящихся в ведении комплексной лаборатории мониторинга загрязнения окружающей среды Томского ЦГМС – филиала ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС». Наблюдения проводятся 3 раза в сутки ежедневно (за исключением воскресенья) с измерением концентрации пыли, диоксида/оксида азота, диоксида серы, оксида углерода, бенз(а)пирена и ряда специфических веществ [3].

БЭК осуществляет мониторинг метеовеличин, газового и аэрозольного состава воздуха в приземном слое (на высотах 10, 30 м над поверхностью земли) [4].

**Погодные условия.** 10–11 октября 2012 года отмечалась облачная без осадков погода. Ночью и в первой половине дня наблюдались облака нижнего яруса с постепенным переходом после 15 часов в верхний ярус, а после 18 часов наблюдалась ясная погода. Температура воздуха изменялась в пределах от -2 °С ночью до 3 °С днем, атмосферное давление незначительно повышалось от 758 в начале суток до 760 мм в конце суток. Скорость ветра в течение суток составляла от 3 до 8 м/с, направление ветра – северо-западное с постепенным переходом во второй половине дня на западное с уменьшением скорости. Примерно такая же погода отмечалась на АМСГ. Существенно, что максимальная температура в городе была выше, чем за городом, на 1,2 °С. Минимальная температура была выше на АМСГ на 0,8 °С.

Вертикальный профиль температуры по данным профилемера характеризовался наличием с 8 часов приподнятой инверсии или изотермии на высоте от 600 м. В отдельные короткие временные интервалы инверсия исчезала, затем вновь появлялась. С 18 часов возникла приземная инверсия, которая отмечалась до конца суток в слое до 50–100 м. Повышение температуры в слое инверсии составило до 1,5 °С. Стратификация атмосферы способствовала ухудшению экологической обстановки после 18 часов.

13–14 октября отмечалась малооблачная погода в начале суток, затем происходило натекание облаков верхнего яруса, и днем отмечалась облачная погода, облака верхнего и среднего яруса (Ac, As). Температура воздуха изменялась от  $-3 - -5$  °С ночью до  $5$  °С днем с постепенным повышением к концу суток до положительных значений. Атмосферное давление составило  $765-760$  мм и постепенно понижалось в течение суток; ветер южный, слабый (днем до  $3-4$  м/с, ночь и утром – от штиля до  $2$  м/с). Максимальная температура воздуха в городе выше, чем на АМСГ на  $1,1$  °С, минимальная – на  $0,8$  °С.

Вертикальный профиль температуры по данным профиломера характеризовался в ночное время наличием инверсии в приземном слое до  $300$  м и выше  $600$  м, интенсивность – до  $2$  °С с максимальной интенсивностью к утру до  $4$  °С. Примерно с  $10$  часов инверсия стала приподнятой за счет прогрева нижних слоев воздуха, высота нижней границы повышалась постепенно до  $100$  м. Днем (после  $12$  часов) температура во всем слое уменьшалась с высотой. Вечером (после  $18$  ч) вновь возникла приземная инверсия. Таким образом, стратификация атмосферы не препятствовала накоплению примесей в воздухе, особенно в ночные и утренние часы.

При проведении расчетов в метеорологической модели использовались горизонтальное разрешение  $1$  км и  $30$  уровней по вертикальной координате. При задании свойств подстилающей поверхности рассматривалось семь категорий землепользования: водная поверхность, поверхность с незначительной растительностью, сельскохозяйственные угодья, лиственный, смешанный и хвойный лес, городская застройка. Эти категории отличались по следующим параметрам: высота шероховатости, альбедо, теплофизические свойства почвы, параметр испарения, степень черноты, температура на глубине  $2$  м (для почвы). Антропогенный поток рассчитывался по следующей формуле:  $Q_{urban} = 4.187(5 + 7 \max(\sin(\pi(t - 6)/18), 0.0))$  Вт/м<sup>2</sup>.

Территория, на которой рассматриваются результаты моделирования, представляет собой квадрат со стороной  $50$  км, в центре которого находится город. При моделировании переноса примеси эта территория разбита на  $10^4$  квадратов размерами  $0,5 \times 0,5$  км, из которых чуть более  $1500$  приходится на Томск. Остальная часть расположена в Томском районе. При моделировании также используются данные о рельефе и категориях землепользования, данные о выбросах автотранспорта и труб предприятий. Рассматриваются выбросы 17-ти различных веществ: пыль, сажа, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NO, CH<sub>2</sub>O, C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH, CH, C<sub>7</sub>H<sub>8</sub>, C<sub>8</sub>H<sub>10</sub>, CH<sub>3</sub>OH и других.

**Основные результаты.** Проведенные расчеты показали, что, в целом, мезомасштабная модель хорошо предсказывает развитие метеорологических условий на рассматриваемые даты, в том числе слабый ветер в вечерние часы  $11$  октября  $2012$  года и близкие к штилевым условия

в первой половине 14 октября 2012 года. Выявлено некоторое расхождение значений метеорологических величин в центре и на окраине города, что может быть связано с особенностями рельефа (центр Томска находится на высоте 60–80 м, окраины – до 300 м над уровнем моря) и с различием в категориях землепользования для сравниваемых мест. Тепло от городских антропогенных источников не оказывает существенного влияния на метеорологические величины в районе ТРП-станции ИОА СО РАН. Для выбранных дат расчеты показывают заметное различие для центра города и пригорода в уровне загрязнения воздуха как первичными, так и вторичными примесями.

**Работа выполнена по Государственному заданию Министерства образования и науки РФ, № 5.628.2014/К.**

#### **Список литературы**

1. Старченко А.В. Численное исследование локальных атмосферных процессов // Вычислительные технологии. 2005. №10. С. 81–89.
2. Барт А.А., Старченко А.В., Фазлиев А.З. Информационно-вычислительная система для краткосрочного прогноза качества воздуха над территорией г. Томска // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т. 25. № 07. С. 594–601.
3. ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС» Официальные данные наблюдений. Официальные прогнозы. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.meteo-nso.ru/pages/90>
4. Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К., Ивлев Г.А., Козлов А.В., Пестунов Д.А., Покровский Е.В., Толмачев Г.Н., Фофонов А.В. Посты для мониторинга парниковых и окисляющих атмосферу газов // Оптика атмосферы и океана. 2007. Т.20. №1. С. 1085–1092.