

Сведения о выполненных работах в 2019 году
по проекту «**Разработка математических моделей, численных методов и
комплекса программ для исследования и оперативного прогнозирования
метеорологических явлений и качества атмосферного воздуха в районе
промышленного центра с использованием суперкомпьютера и
приборной базы ЦКП "Атмосфера"»,**
поддержанному Российским научным фондом
Соглашение № 19-71-20042

Руководитель д-р физ.-мат. наук Старченко Александр Васильевич

Проект направлен на разработку современного математического и программного обеспечения для новой автоматизированной вычислительной системы для мониторинга и заблаговременного предупреждения опасных метеорологических условий (гроза, град, шквал) и условий, приводящих к существенному ухудшению качества атмосферного воздуха и видимости вблизи крупных городов, промышленных объектов и транспортных узлов.

В 2019 году по проекту были выполнены следующие работы:

1. Включение в развиваемую в проекте метеорологическую модель TSUNM3 современной схемы явного представления микрофизики влаги WSM6 (Hong, Lim, 2006) и параметризации взаимодействия пограничного слоя атмосферы с земной поверхностью (Noilhan, Mahfouf, 1996), в которой учитываются изменение температуры и влажности поверхностного и глубинного слоя почвы. Использование схемы WSM6 позволяет проводить расчеты образования в атмосферном пограничном слое облачности, ледяных кристаллов и осадков в виде дождя, снега или крупы (града), что чрезвычайно важно для условий России и Сибири. Данная схема параметризации микрофизики влаги хорошо сопрягается с моделью TSUNM3.
2. Сопряжение мезомасштабной модели TSUNM3 с расчетами по глобальной модели среднесрочного прогноза погоды Гидрометцентра РФ ПЛАВ высокого пространственного ($0,186^\circ \times 0,225^\circ$) и временного (3 часа) разрешения, которые используются для задания начальных и граничных условий в мезомасштабной модели.
3. Применение обновленной мезомасштабной метеорологической модели TSUNM3 для проведения вычислительных экспериментов по моделированию отдельных метеорологических условий и характеристик «острова тепла» над крупным населенным пунктом, а также прогнозированию выпадения осадков над транспортным узлом – аэропортом. Для оценки достоверности получаемых результатов проводилось сравнение с результатами численного прогноза, получаемого по модели WRF (Weather Research and Forecasting) и приборной базы Центра коллективного пользования «Атмосфера» Института оптики атмосферы СО РАН имени В.Е. Зуева.

4. Развертывание и настройка измерительного комплекса ЦКП "Атмосфера" ИОА СО РАН. Проведены измерения высотно-временных профилей температуры воздуха в диапазоне высот 0–1000 м и профилей скорости и направления ветра в диапазоне высот 45–700 м, а также измерения метеорологических параметров (температуры и относительной влажности воздуха, атмосферного давления, компонентов вектора ветра, включая турбулентные составляющие) в приземном слое атмосферы в двух пунктах наблюдений (урбанизированная территория и территория с естественным ландшафтом) с использованием приборной базы ЦКП «Атмосфера» ИОА СО РАН (метеорологический температурный профилемер МТР-5, метеорологический акустический локатор – содар «Волна-4М», ультразвуковые анемометры-термометры «Метео-2»). Выполнена обработка результатов измерений метеорологических параметров, включая выбор и анализ ситуаций с сильными порывами ветра в приземном слое, а также ситуаций со штилевыми условиями по измерениям в 2019 г.

5. Формирование архива по наблюдениям сети мониторинга метеорологических параметров атмосферного воздуха.

6. Построение семантической модели, характеризующей качество воздуха над урбанизированной территорией.

В первой части модели описана связь между математическим разбиением урбанизированной территории на ячейки, и топографической основой, содержащей общепринятые топонимы, упорядоченные по отношению «часть-целое». Высокая степень детализации топографической основы в дальнейшем может быть огрублена с точностью необходимой для узнавания населением принятых топонимов разного масштаба в зависимости от описываемого вычислениями загрязнения территории. Эта часть необходима для представления информации о качестве воздуха в привязке к известным топонимам. Обозначаемые топонимами территории, и, связанные с ними воздушные массы, являются субъектами модели. Их свойства описаны во второй части модели.

Вторая часть модели характеризует физические, химические и метеорологические свойства воздуха локализованного с субъектами города и его окрестностей. Количественные значения свойств определяются расчетами и измерениями в двух пунктах (ТОР-станция и БЭЖ) в пределах урбанизированной территории. Субъекты, наделенные этими свойствами, образуют фактологическую часть базы знаний.

В программной реализации третья часть модели представляет классы, предназначенные для поддержки принятия решений для организации оповещения населения. Детализация принимаемых мер при опасных загрязнениях в настоящее время не проведена.

Кодирование модели в рамках языка OWL DL позволило создать онтологическую базу знаний, в которой первая часть представляет A-box, вторая часть – R-box, и,

третья часть – T-box. Эта база знаний будет основой для системы поддержки принятия решений об оповещении населения о качестве воздуха над территорией.

Создана основа информационной системы, в которой будет размещена выше упомянутая система поддержки принятия решений.

В процессе реализации этих работ были получены следующие научные результаты:

1. Усовершенствованная мезомасштабная метеорологическая модель TSUNM3, адекватно отражает время выпадения и интенсивность осадков, при этом, однако в отдельных случаях время начала и окончания их не всегда совпадают, различие может достигать нескольких часов. Достоверно отображается фазовое состояние осадков. Более 70 % случаев выпадения осадков подтверждено численными расчетами. Обе модели (WRF и TSUNM3) удовлетворительно прогнозируют температурно-влажностные характеристики. Качество модели TSUNM3 по прогнозу осадков сопоставимо с современными моделями мезомасштаба (WRF). Оправдываемость модели TSUNM3 выше, чем модели WRF. Обе модели точно прогнозируют фазовое состояние осадков, однако на данном этапе не смогли смоделировать выпадение града.

При исследовании эффекта «городской остров тепла», выявленного в результате анализа наблюдений метеорологических параметров с помощью приборной базы ЦКП «Атмосфера» в городе и в пригородах, было установлено, что модель WRF имеет тенденцию завышать интенсивность острова тепла и в целом температурные контрасты по территории. Модель TSUNM3 дает более реалистичные результаты, хотя не всегда фиксирует повышенные температуры в городе. Положение острова тепла может смещаться в направлении преобладающего потока. Экспериментальные и, в особенности, модельные расчеты свидетельствуют о том, что остров тепла выражен лучше зимой. Остров тепла более ярко выражен в «темное» время суток. Модели позволяют выявить в трехмерном пространстве локальные атмосферные неоднородности над городом и прилегающей местностью, выраженные в температуре, влажности, скорости и направлении ветра.

2. Установлено, что на протяжении всего периода измерений в «темное» время суток имеет место явно выраженный «городской остров тепла». Это характерно для всех сезонов года. Выявлено, что наиболее значительные разности температур достигаются при условиях, близких к штилю (скорость ветра менее 1 м/с). При этом, чем больше скорость ветра, тем меньше разность температур. Можно сделать вывод, что при скоростях ветра в приземном слое более 2-3 м/с эффект «городского острова тепла» практически не реализуется (данный вывод справедлив только для г. Томска).

3. Семантическая модель, характеризующая качество воздуха над урбанизированной территорией, позволяющая в значительной мере сделать вычисляемым и разрешаемым (вычисляемым за конечное время) процесс принятия решений о качестве атмосферного воздуха над городом.