

Сведения о выполненных работах в 2022 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 Старченко Александр Васильевич, д-р физ.-мат. наук

1. Разработан прототип автоматизированной вычислительной системы для исследования и оперативного прогнозирования метеорологических явлений и качества атмосферного воздуха в районе промышленного центра с использованием суперкомпьютера ТГУ Cyberia и приборной базы ЦКП «Атмосфера» ИОА СО РАН. Целью создания прототипа автоматизированного программного комплекса, состоящего из вычислительной компоненты, измерительной компоненты и информационной компоненты в виде инфраструктурной научной информационно-вычислительной веб-системы Meteo+, являлась компьютерная поддержка научных исследований, направленная на автоматизацию рутинных информационных процессов, связанных непосредственно с получением и подготовкой данных для моделирования, запуском и мониторингом моделирования, а также представлением и хранением результатов вычислений и измерений.

Текущая программная реализация научной информационно-вычислительной системы «Meteo+» для моделирования краткосрочных метеорологических прогнозов была обусловлена необходимостью быстрого создания системы компьютерной поддержки научных исследований для повышения эффективности процессов сбора, накопления, систематизации и анализа результатов фиксированных сценарных вариантов прогнозов по выбранным вычислительным физико-математические моделям TSUNM3 и СТМ.

Разработанный прототип автоматизированной вычислительной системы в 2022 году прошел апробацию по предсказанию отдельных метеорологических ситуаций 2019-2021 гг., приводящих к загрязнению приземного воздуха в г. Томск или опасным погодным явлениям. Качество численного предсказания контролировалось по наземным измерениям метеопараметров ЦКП «Атмосфера» и сравнивалось с расчетами комплекса мезомасштабных моделей WRF/CAMx. Получено удовлетворительное соответствие результатов расчетов с внешними расчетно-экспериментальными значениями как по приземным значениям метеопараметров и концентраций компонент примеси, так и по вертикальной структуре атмосферного воздуха над г. Томск.

Отдельно рассматривались конкретные случаи численного моделирования качества воздуха в г. Томск при неблагоприятных метеорологических условиях,

сопровождающихся слабым ветром. Было получено, что обе мезомасштабные модели численного прогноза погоды (WRF и TSUNM3) примерно с одинаковым качеством предсказали значения приземных метеорологических параметров, в том числе и направления ветра, что важно для достоверного моделирования распространения компонентов примеси от городских источников. Наблюдаемые периоды длительного «штиля» (более шести часов) со скоростью приземного ветра менее 1 м/с лучше предсказывает модель TSUNM3. Что касается моделирования вертикальной структуры атмосферы, то обе модели хорошо воспроизводят вертикальное распределение температуры, в том числе и температурные инверсии для утреннего и вечернего времени суток. Сравнение результатов численного прогноза с использованием развиваемой модели качества воздуха CTM и модели CAMx показало, что критические значения монооксида углерода в приземном слое наблюдаются в моменты времени, когда «слабый» ветер сопровождается температурными инверсиями и интенсивность выбросов городского автотранспорта еще высока – около 8 и 20 часов местного времени.

Также сопоставлялись результаты численного моделирования некоторых опасных погодных явлений: образование тумана, интенсивные снежные и жидкие осадки и порывы ветра в аэропорту г. Томска и в самом городе. Сопоставление результатов расчетов по мезомасштабной модели TSUNM3 с наблюдениями в пунктах расположения метеоприборов ЦКП «Атмосфера» и аэродромной метеостанции АМИС-РФ и расчетами по модели WRF показало, что модель TSUNM3 хорошо предсказывает изменение приземных метеопараметров (скорость и направление ветра, температура, влажность, интенсивность и продолжительность осадков, горизонтальная дальность видимости) в указанных пунктах наблюдения.

2. С использованием оборудования ЦКП «Атмосфера (ИОА СО РАН) в 2022 г. были проведены измерения метеорологических параметров в пограничном слое атмосферы в пункте «IAO» (г. Томск, Академгородок) и в пункте «Базовый Экспериментальный Комплекс» («ВЕС») ИОА СО РАН (естественный ландшафт). Расстояние между пунктами составляет примерно 3 км. В обоих пунктах использовались температурно-ветровые комплексы в составе метеорологического температурного профилемера МТР-5 (измерение профилей температуры), метеорологического акустического локатора (содара) «Волна-4М» (измерение профилей скорости и направления ветра), ультразвуковых анемометров-термометров (ультразвуковых метеостанций – УЗМ) «Метео-2» (измерение метеорологических параметров и характеристик турбулентности в приземном слое). При обработке экспериментальных данных, полученных с помощью оборудования ЦКП «Атмосфера» ИОА СО РАН в двух пунктах наблюдения (урбанизированная территория и естественный ландшафт) в период 01.01–31.10.2022 одной из задач являлось выделение эпизодов, когда в приземном слое могли накапливаться большие концентрации аэрозольных и газовых примесей, а также дней с сильным порывистым ветром в приземном слое. Была продолжена работа по выявлению эффекта

«городского острова тепла» (ГОТ) путем сравнения температур воздуха на разных высотах между пунктами «IAO» (урбанизированная территория) и «ВЕС» (естественный ландшафт). Установлено, что в 2022 г. эффект ГОТ распространялся максимум до высот порядка 300 м. С учетом необходимости прогнозирования по модели TSUNM3 в том числе мезомасштабных процессов (с масштабами до нескольких километров), был проведен сопоставительный анализ смешанных моментов компонентов вектора ветра турбулентных и более крупных масштабов. В результате установлено, что смешанные моменты мезо–гамма–масштабных составляющих компонентов вектора ветра в приземном слое по величине сопоставимы, а в некоторых случаях и превышают турбулентные потоки импульса. Это означает, что их учет необходим при прогнозировании процессов мезометеорологического масштаба.

Проведен анализ зависимости концентрации аэрозоля и концентраций газовых компонентов примеси от скорости и направления ветра, а также от стратификации температуры в приземном слое атмосферы по результатам измерений в 2022 г. (январь–октябрь) в пункте «IAO». Анализ связи концентрации измеряемых химических элементов за 2020 и за 2022 годы показал, что корреляционные связи от года к году, за небольшим исключением, сохраняются, что подтверждает существенное влияние метеорологических условий на экологическое состояние атмосферы. Концентрация рассмотренных химических элементов ниже максимально разовых ПДК и не представляет опасности для людей.

3. Построенные на языке разметки знаний OWL три семантические модели города (рекреационные зоны, транспортная система города, точечные источники загрязнения) представляют описание расположения точечных источников загрязнений, структуру выбросов точечных источников (дискретно по времени (1 час) и пространству (500*500 м)) и выборочную историю распространения загрязнений от них, а также ключевые перекрестки с заторами и выбросами, связанными с ними, которые можно оценивать по ГОСТу, и, наконец, нейтрализацию загрязнений в рекреационных зонах, расположенных как в городе, так и в зонах рекреации. Онтологии состоят из классов, свойств и индивидов. В проекте созданы три онтологии, которые могут адаптироваться к разным населенным пунктам, а также индивиды и классы, представленные также, как паттерны для создания онтологий в данных предметных областях. Созданные онтологии будут использованы для системы поддержки принятия решений по вопросам городской среды города Томска в рамках прототипа информационной системы, созданной в данном проекте.

4. В рамках проекта был создан архив данных, необходимых для численного моделирования, а также для оценки точности прогнозов.