

*И.Н. Кузнецова, И.Ю. Шалыгина, М.И. Нахаев,
Ю.В. Ткачева, А.А. Кирсанов, Г.С. Ривин*

МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СРЕДНИХ ПО ГОРОДУ УРОВНЕЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕЗОМАСШТАБНЫХ ЧИСЛЕННЫХ МОДЕЛЕЙ АТМОСФЕРЫ И ХИМИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ МОДЕЛЕЙ

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр
Российской Федерации*

Введение

Методика прогнозирования средних по городу уровней загрязнения атмосферного воздуха с использованием мезомасштабных численных моделей атмосферы и химических транспортных моделей (далее – Методика) разработана в рамках выполнения НИР 1.4.1.4 Плана НИОКР Росгидромета (2017–2019 гг.) в ФГБУ «Гидрометцентр России».

Методика описывает структурные элементы системы прогнозирования концентраций загрязняющих веществ, порядок расчета средних по городу концентраций, пост-процессинг модельных расчетов, формат представления прогностической продукции, а также процедуру сравнений модельных концентраций загрязняющих веществ и наблюдаемых на сетевых постах мониторинга.

Прогнозирование и анализ средней по городу концентрации загрязняющих веществ (СГК) осуществляется на основе расчетов химических транспортных моделей (ХТМ) в узлах регулярной сетки. По аналогии с существующей методикой прогнозирования загрязнения «по городу в целом», применяемой в прогностических подразделениях Росгидромета согласно РД 52.04.306-92 «Руководство по прогнозу загрязнения воздуха» [10], применяемой в прогностических подразделениях Росгидромета для прогноза загрязнения «по городу в целом», выполняется осреднение модельных концентраций по территории города. При осреднении концентрации загрязняющего вещества по территории уменьшается

вклад случайных процессов и погрешностей измерений по сравнению с наблюдениями на станции мониторинга.

В настоящее время специализированный прогноз загрязнения составляется более чем для 400 городов и промышленных центров России, но во многих сетевых подразделениях Росгидромета отсутствуют группы специализированного прогнозирования, прогноз загрязнения воздуха составляется синоптиками. В большинстве сетевых подразделений Росгидромета статистические схемы прогнозирования за последние годы практически не обновлялись, в то время как наблюдается стремительное развитие численного моделирования атмосферных процессов, а также моделей переноса с учетом химических преобразований различной сложности.

Создание технологии модельных прогнозов концентраций загрязняющих веществ в Гидрометцентре России стало возможным благодаря решению нескольких задач, среди которых главными являются адаптация двух ХТМ на вычислительной платформе Росгидромета и система оперативного прогнозирования метеорологических полей на основе гидродинамических моделей последнего поколения. Важным фактором для успешной реализации технологии является положительный эффект региональной адаптации эмиссий, полученный по результатам тестовых экспериментов, выполненных с применением анализа ретроспективных изменений базы данных ЕМЕР, а также доступных статистических данных об источниках и объемах выбросов загрязнений в атмосферу. Еще одним необходимым фактором, способствующим созданию оперативной технологии модельных расчетов загрязнения, является доступ к БД непрерывных измерений концентраций загрязняющих веществ на станциях мониторинга ГПБУ «Мосэкомониторинг», обеспечивших верификацию прогностических величин и разработку постпроцессинга – широко применяемой в моделировании процедуры обработки первичных расчетов.

- 96 -

Модельные прогнозы позволяют получить прогностическую информацию о загрязнении воздуха на период до нескольких суток (до 48–72 часов), что в комплексе с возможностью внутрисуточной детализации прогноза имеет решающее значение при подготовке и составлении рекомендаций по сокращению вредных выбросов. Кроме того, модельная прогностическая информация о загрязнении воздуха отдельными веществами может быть использована для интегральных оценок качества воздуха с применением индексов качества воздуха по аналогии с зарубежной практикой, а в перспективе и для прогнозирования рисков от негативного влияния загрязнения на окружающую среду.

Показателями успешности численных расчетов СГК служат результаты сравнений модельных расчетов концентраций загрязняющих веществ с осредненными, измеренными на постах наблюдений концентрациями. При оценивании модельных прогнозов концентраций

принимаются во внимание инструментальные погрешности, а также показатели фактической изменчивости концентраций загрязняющих веществ на территории города, отдельно рассматривая наблюдения в пунктах наблюдений загрязнения (ПНЗ) городского и транспортного типов.

Методика предназначена для организации и выполнения оперативного прогнозирования качества воздуха на основе модельных расчетов концентраций загрязняющих веществ.

Положения методики могут быть использованы:

- в статистических схемах прогноза загрязнения приземного воздуха в среднем по городу в режиме регулярного прогнозирования загрязнения;
- при подготовке материалов для составления предупреждений о необходимости сокращения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в периоды НМУ, в т. ч. в городах с отсутствием сети наблюдений за загрязнением воздуха;
- при разработке региональной адаптации эмиссий загрязняющих веществ;
- для разработки методов расчета и оценки комплексных показателей качества воздуха;
- в перспективе – для разработки методики прогнозирования рисков от негативного влияния загрязнения воздуха с использованием методик расчета рисков.

- 97 -

Используемые данные

Инструментом численного прогнозирования загрязнения воздуха является химическая транспортная модель [2, 3, 5, 6, 12, 14–17]. Для объективности и надежности оперативной прогностической информации расчеты концентраций загрязняющих веществ в Гидрометцентре России проводятся двумя химическими транспортными моделями – ХТМ CHIMERE [5–7, 11] и COSMO-ART [2, 4, 8], основные различия которых состоят в том, что а) они представляют различные классы моделей; б) используют разные данные об антропогенных эмиссиях [4, 13].

Модель COSMO-ART представляет класс *онлайн* моделей, в которых на каждом шаге счета происходит обмен данными с метеорологической моделью: из блока ХТМ в метеорологическую модель передаются рассчитанные концентрации аэрозолей и газов, способных оказать влияние на расчет переноса радиации и облакообразование. ХТМ CHIMERE относится к типу *оффлайн* моделей, работающих автономно с обновлением метеорологических данных на каждом временном шаге.

Расчеты ХТМ CHIMERE проводятся с применением данных об антропогенных эмиссиях из базы данных открытого доступа ЕМЕР. Расчеты COSMO-Ru7-ART

(конфигурации модели COSMO-ART в Гидрометцентре России с горизонтальным шагом сетки 7 км) обеспечиваются данными кадастра TNO (Netherlands Organization for Applied Scientific Research) с ограниченным для пользователей доступом [4, 8]; Гидрометцентр России – член консорциума COSMO с правом использования модели COSMO, для всех прогностических задач имеет соответствующую лицензию [9, 18].

В результате технологической оптимизации обе ХТМ производят расчеты с усвоением метеорологических данных одной модели атмосферы COSMO-Ru7 [1, 18]. Модель мезомасштабного численного прогноза метеорологических полей COSMO-Ru7 использует сферическую систему координат со смещенным полюсом на 40 изобарических уровнях по вертикали в атмосфере (верхний уровень на высоте примерно 23 км) и 7 уровней в почве. Для модельных расчетов используется метод вложенных сеток; задание начальных и боковых граничных условий обеспечивается данными глобальной модели атмосферы ICON (ранее GME, Германия) с горизонтальным шагом сетки 13 км. Граничные условия с интервалами по времени 3 часа поступают в систему мезомасштабного моделирования путем чтения GRIB-файлов, размещенных на ftp-сервере Гидрометцентра России.

В модели COSMO-Ru7 производится: а) преобразование начальных данных для перевода на вычислительную сетку с шагом 7 км; б) интегрирование по времени уравнений гидротермодинамики атмосферы и деятельного слоя подстилающей поверхности; в) вычисление притоков тепла и влаги в каждой ячейке в толще модельной атмосферы; г) формирование выходной стандартизированной продукции; д) подготовка на каждом шаге по времени (40 с) информации для химической модели.

Конечной целью создания вычислительного комплекса из двух ХТМ является комплексирование модельных расчетов концентраций загрязняющих веществ как распространенный способ повышения качества прогнозирования с помощью моделей различных классов. Кроме того, парные расчеты позволяют получать сравнительные характеристики качества моделей, выявлять причины и источники модельных погрешностей, устанавливать оптимальные настройки в вычислительных блоках.

Структурные компоненты модельного вычислительного комплекса

Система COSMO-Ru7-ART состоит из мезомасштабной негидростатической метеорологической модели COSMO-Ru7 (Consortium for Small-scale MOdelling – RUssia) и блока атмосферной химии ART (Aerosols and Reactive Trace gases) [4, 8].

В COSMO-Ru7-ART осуществляется совместный расчет метеорологических величин и химических преобразований на каждом шаге по времени, тем самым учитывается обратное

влияние аэрозолей на радиационные процессы и метеорологический режим атмосферы. COSMO-Ru7-ART учитывает химические преобразования веществ в газовой фазе, фотодиссоциацию, коагуляцию, конденсацию, нуклеацию, осаждение, выведение и вымывание аэрозолей. Предусмотрен учет аэрозольной химии, взаимодействия аэрозолей с радиацией, эмиссия морской соли, минеральной пыли, пыльцы, биогенные выбросы гидрокарбонатов и гетерогенные реакции. Химические процессы в тропосфере представлены 172 реакциями. Среди неорганических соединений в явном виде рассматриваются 17 устойчивых соединений и 4 радикала. Органические соединения включают 26 устойчивых соединений и 16 радикалов.

Основой расчета пространственных и временных изменений концентраций малых газовых примесей в COSMO-Ru7-ART служит уравнение диффузии. Его граничными условиями являются данные о выбросах газовых примесей, рассчитываются концентрации оксидов азота, углерода и серы, азотной и серной кислоты, озона, пероксида водорода, альдегидов, кетонов, алканов и алкенов.

Для работы химического блока COSMO-Ru7-ART помимо метеорологических параметров используются следующие входные данные: распределение категорий землепользования Global Land Cover 2000 Project (GLC, 2000), данных о выбросах веществ TNO (Netherlands Organization for Applied Scientific Research). Биогенные эмиссии рассчитываются в модели по данным о землепользовании, температуре и потоке радиации. На границах области моделирования задаются климатические данные о концентрациях газов и аэрозолей (MOZART).

В качестве граничных и начальных условий при расчете метеорологических полей в COSMO-Ru7-ART используется прогноз оперативной модели COSMO-Ru7 (также возможно использование других конфигураций модели COSMO и ICON).

В XTM CHIMERE производятся расчеты изменений концентраций примесей с учетом переноса, а также влияния источников и стоков. XTM CHIMERE в действующей технологии включает блок газофазных реакций MELCHIOR-1, предусматривающий расчет 80 веществ и более 300 реакций. Используемые прогностические поля метеорологических характеристик обеспечиваются данными модели атмосферы COSMO-Ru7. При организации совместной работы моделей вначале проводился счет метеорологической модели с сохранением на каждом часе данных о состоянии атмосферы. Затем накопленная на период прогноза метеорологическая информация из COSMO-Ru7 интерполируется на сетку CHIMERE и преобразовывается в требуемый формат. Также на каждый шаг периода прогноза рассчитываются биогенные и антропогенные эмиссии, после этого проводится собственно счет CHIMERE. Эмиссии задаются с использованием данных EMEP (www.emep.int).

Пространственное разрешение данных ЕМЕР $0,5 \times 0,5^\circ$; поля эмиссий с более высоким разрешением рассчитываются путем распределения эмиссий внутри каждой из ячеек исходных данных с учетом типа землепользования и плотности населения.

Разделение годовых эмиссий по сезонам, дням и часам в течение суток проводится с использованием программ, входящих в пакет CHIMERE (GENEMIS). Биогенные эмиссии рассчитываются в CHIMERE как функция времени года, состояния атмосферы и типа подстилающей поверхности.

На боковых границах области расчета CHIMERE концентрации примесей задаются по результатам климатического моделирования: для газовых примесей – данные модели MOZART2, для аэрозолей – GOCARD. Использование климатических концентраций на боковых границах налагает ограничение на минимальный размер области моделирования.

Для описания пространственной неоднородности эмиссий в ограниченном регионе используется метод вложенных сеток. При счете на внутренней области в качестве граничных условий используются концентрации, рассчитанные CHIMERE на внешней сетке. В текущей конфигурации внешняя сетка CHIMERE имеет разрешение $1 \times 1^\circ$, внутренняя $0,1^\circ(\text{широта}) \times 0,2^\circ(\text{долгота})$ – примерно 11 км. Используются 12 вертикальных уровней, неравномерно распределенных от поверхности земли до уровня 250 гПа, на верхней границе задаются климатические концентрации загрязняющих веществ.

- 100 -

Организация модельных расчетов

Регулярные расчеты концентраций загрязняющих веществ COSMO-Ru-ART проводятся на вычислительной платформе CRAY XC40-LC с 288 ядрами, расчеты XTM CHIMERE – на персональном компьютере. В текущей конфигурации вычислительного модельного комплекса расчеты прогностических концентраций загрязняющих веществ проводятся в узлах регулярной модельной сетки с шагом 7 км COSMO-Ru7-ART и шагом 11 км XTM CHIMERE. Расчеты концентраций загрязняющих веществ проводятся на текущие и следующие сутки; дискретность прогностических данных – 1 час. Результаты расчетов величин концентраций загрязняющих веществ в узлах модельной сетки на каждый час прогноза записываются в оперативную базу данных. Время заполнения оперативной базы прогностических расчетов – не позднее 10 ч утра.

До начала формирования прогностических данных для практического использования проводится процедура пост-процессинга модельных расчетов, если по результатам ретроспективного анализа установлены необходимость и правила коррекции первичных модельных расчетов. Пост-процессинг позволяет минимизировать систематические

погрешности расчетов, связанные с неточностью задания региональных эмиссий, с особенностями встроенной в ХТМ процедуры типового сезонного и внутрисуточного распределения эмиссий, а также систематическими ошибками прогнозов метеорологических характеристик (например, модельным завышением скорости ветра, термической устойчивости и т. п.).

При наличии в регионе непрерывных наблюдений за концентрациями на предварительном этапе вырабатываются правила постобработки первичных модельных расчетов концентраций в узлах модельной сетки на каждом шаге по времени. При отсутствии регулярных наблюдений процедура постобработки осуществляется применительно к рассчитанным по первичным данным обобщенным характеристикам загрязнения, таким как средняя по городу и за сутки концентрация, средний суточный максимум и т. д.

Расчет временных характеристик загрязнения и их представление

Значения прогностических величин каждого загрязняющего вещества в узлах модельной сетки в ОБД служат основой для расчетов характеристик загрязнения с различным временным осреднением и визуализации результатов моделирования.

- 101 -

Средние за период концентрации

На каждый час прогностического периода путем осреднения значений в узлах модельной сетки внутри границ города рассчитывается средняя концентрация приоритетного для города загрязняющего вещества $C(h,n)$, где h – час прогностического периода, $h = 1, 2, 3, \dots, 48$; n – загрязняющее вещество (CO , NO_x , PM_{10} и т.д.). $C(h,n)$ используется для последующего расчета характеристик с различным временным осреднением.

$C(n)_{c.c}$ – средняя за сутки концентрация каждого загрязняющего вещества. $C(n)_{c.c}$ обычно используют для сравнения модельного расчета с гигиеническим нормативом – средней за сутки ПДК.

Автоматизированный модельный расчет концентраций загрязняющих веществ позволяет детализировать временные особенности внутрисуточной динамики загрязнения воздуха. В соответствии с суточным типовым ходом загрязнения и условий рассеивания примеси принято рассчитывать $C(\tau,n)$ за «характерные» 6-часовые внутрисуточные интервалы в текущие и следующие сутки: $\tau_y = 6-11$ ч (утро), $\tau_d = 12-17$ ч (день), $\tau_b = 18-24$ ч (вечер), $\tau_y = 6-11$ ч (утро), $\tau_n = 1-5$ ч (ночь) и т. д.

Такой детализированный прогноз $C(\tau, n)$ может служить основанием для целевого и ориентированного практического применения при составлении предупреждений о необходимости сокращения выбросов конкретных загрязнений.

$C(h, n)$, $C(\tau, n)$ представляются в виде графиков, таблиц. $C(h, n)$ также визуализируются в виде полей концентраций на картографической основе. Для общей оценки ситуации автоматически подготавливается анимационный файл полей концентраций для всего прогностического периода.

Максимальные за сутки концентрации

По рассчитанным величинам $C(h, n)$ определяется суточный максимум осредненной по городу концентрации $C(n)_{\max}$. Дополнительно с целью конкретизации района наиболее сильного загрязнения в рассматриваемые сутки в узлах модельных ячеек (i), вписанных в границы города, определяются максимальные за сутки концентрации $C(i)_{\max}$ для установления диапазона изменчивости суточных максимумов концентраций загрязняющих веществ по территории города $\text{Ran}C(n)_{\max}$.

Сравнение модельных расчетов с данными наблюдений

- 102 -

Оценка качества расчетов средних по городу концентраций загрязняющих веществ с использованием химической транспортной модели проводится путем сравнения модельных концентраций с осредненными данными измерений концентраций на постах наблюдений за загрязнением (ПНЗ).

Для сравнений используются данные: а) часовых измерений при наличии в регионе автоматизированных непрерывных наблюдений за концентрациями, б) срочных измерений 3–4 раза в сутки, выполняемых на сетевых постах Росгидромета. Станции контроля за загрязнением воздуха условно относятся к двум типам – «примагистральные» (или «транспортные») и «городские» (или «жилые»).

Сравнение модельных расчетов средней по городу концентрации загрязняющих веществ

Сравнение модельных расчетов средней по городу концентрации загрязняющих веществ проводится с использованием:

– $C^*(n)$ – концентрация, осредненная по измерениям на всех ПНЗ;

– $C_{\text{тр.}}^*(n)$ – концентрация, осредненная по измерениям на «транспортных» ПНЗ;

– $C_{\text{гор.}}^*(n)$ – концентрации, осредненной по измерениям на «городских» ПНЗ.

Для каждого суточного прогноза определяется величина отклонения модельного расчета средней по городу концентрации от наблюдений:

$$\Delta C(n) = C(n) - C^*(n) \quad (1)$$

Средняя величина $\Delta C(n)$ и другие статистические характеристики (абсолютное отклонение, мода, СКО, повторяемость в градациях, коэффициент корреляции) рассчитываются по результатам сравнений за длительный период (месяц, сезон и т. д.).

Качество модельных расчетов может оцениваться сравнением с данными измерений на ПНЗ транспортного и городского типов. Расчет отклонений за длительный временной интервал проводится по формулам:

$$\Delta C_{\text{тр.}}(n) = C(n) - C_{\text{тр.}}^*(n); \quad (2)$$

$$\Delta C_{\text{гор.}}(n) = C(n) - C_{\text{гор.}}^*(n). \quad (3)$$

Бинарно оценивается попадание модельного расчета в интервал измеренных концентраций на ПНЗ транспортного и городского типов (hit). За длительный временной интервал проводится расчет показателя $H(n)$ (%) попадания модельного расчета в интервал наблюдаемых значений N_h относительно общего числа расчетов N :

$$H(n) = \frac{N_h(n)}{N(n)} \cdot 100. \quad (4)$$

Установленный по рассчитанным величинам $C(h,n)$ суточный максимум осредненной по городу концентрации $C(n)_{\text{max}}$ сравнивается со средней величиной максимальных концентраций $C^*(n)_{\text{max}}$, наблюдавшихся на всех ПНЗ.

По результатам сравнений за длительный период (месяц, сезон и т.д.) рассчитывается средняя величина среднего отклонения модельного и измеренного максимумов средней по городу концентрации $\Delta C(n)_{\text{max}}$ и другие статистические характеристики (абсолютное отклонение, СКО, повторяемость в градациях, коэффициент корреляции).

$$\Delta C(n)_{\text{max}} = C(n)_{\text{max}} - C^*(n)_{\text{max}}. \quad (5)$$

Также сравнивается величина диапазона изменчивости максимальной суточной концентрации по расчетам ХТМ в узлах модельных ячеек (i), вписанных в границы города,

$RanC(i, n)_{max}$ и диапазона, определяемого средней измеренной максимальной концентрации на ПНЗ транспортного и городского типа $RanC^*(n)_{max}$. За длительный временной интервал определяется средняя величина отклонений:

$$\Delta RanC(n)_{max} = RanC(i, n)_{max} - RanC^*(n)_{max} \quad (6)$$

Сравнение модельных расчетов концентрации загрязняющих веществ с данными срочных наблюдений на ПНЗ Росгидромета

Проводимые по существующему регламенту на сети Росгидромета 3 – 4-х разовые измерения концентраций загрязняющих веществ (01, 07, 13 и 19 ч) используются для сравнений с модельными расчетами средней за сутки средней городской концентрации по формуле (1). Оценка рассчитанных ХТМ максимальных концентраций не проводится.

Ограничения. Методика не предусматривает ее применение для прогнозирования уровней загрязнения, связанных с событиями дальнего переноса загрязнений из очагов природных пожаров, из районов техногенных аварий или поступления мелкодисперсного почвенного аэрозоля из районов пыльных бурь.

Расчеты в текущих конфигурациях ХТМ и доступном разрешении моделей атмосферы репрезентативны для оценки качества воздуха на фоновых и городских территориях площадью не менее 50–100 км².

По Плану испытаний ЦМКП Росгидромета в период с мая 2018 по апрель 2019г. Методика проходила авторские испытания на территории московского региона. Модельные расчеты концентраций загрязняющих веществ на основе данных расчетов по модели COSMO-Ru7-ART и химической транспортной модели (ХТМ) CHIMERE сравнивались с данными измерений на автоматизированных станциях контроля загрязнения ГПБУ «Мосэкомониторинг» (30–40 станций) и на постах наблюдений на сети Росгидромета. Ниже иллюстрируется практическая реализация положений Методики на примере московского региона.

На рис. 1 представлены статистические характеристики модельных погрешностей расчета средней суточной усредненной по городу концентрации NO₂ ХТМ CHIMERE и COSMO-ART, полученные по расчетам с мая 2018 г. по апрель 2019 года.

На рис. 2 представлены средние и абсолютные модельные ошибки расчета средней суточной усредненной по городу концентрации CO ХТМ CHIMERE и COSMO-ART, полученные по расчетам с мая 2018 г. по апрель 2019 года.

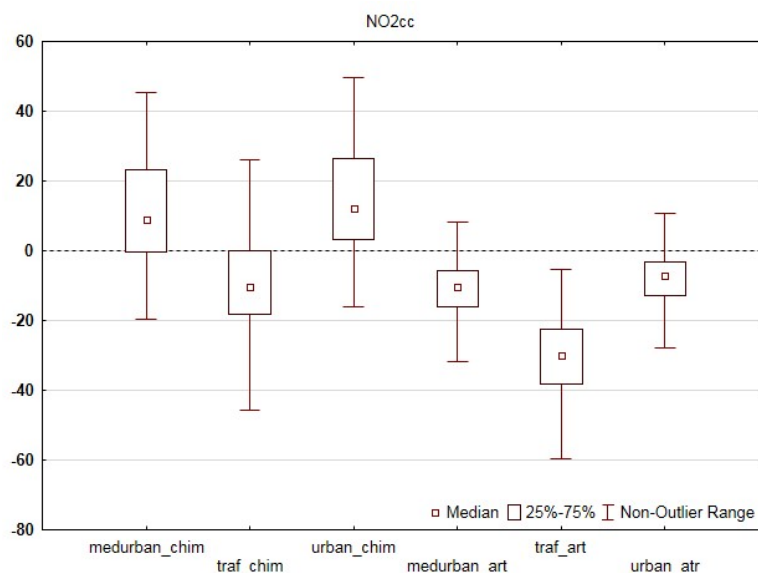
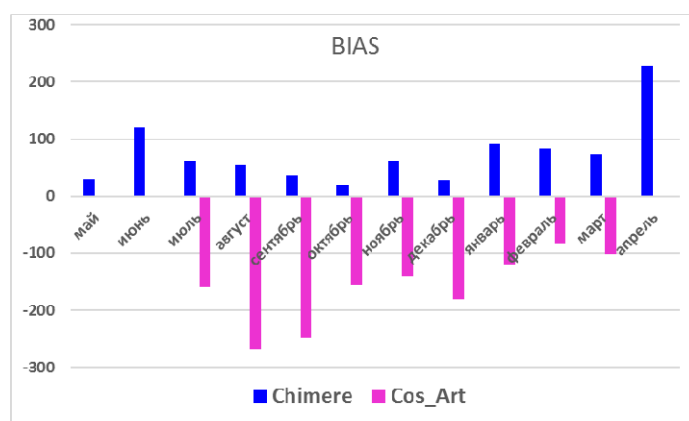
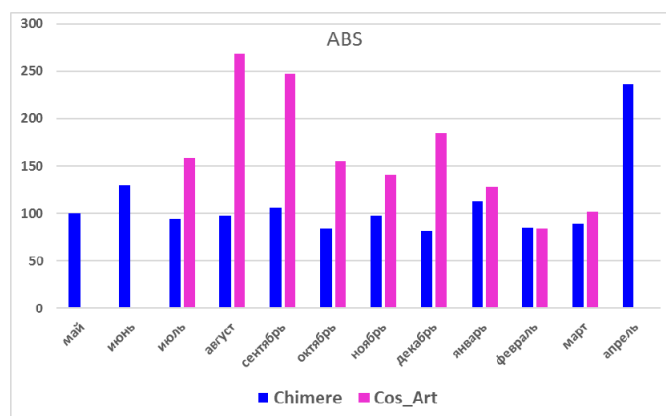


Рис. 1 . Статистические характеристики (медиана, 25–75 %, СКО) модельных отклонений расчета NO_2 XTM CHIMERE (chim) и COSMO-ART (art): по всем станциям (medurban chim, urban art), по станциям транспортного типа (traf chim, traf art) и по станциям городского типа (urban chim, urban art).



Средняя ошибка



Средняя абсолютная ошибка

Рис. 2 . Статистические характеристики модельных отклонений расчета CO XTM CHIMERE (Chimere) и COSMO-ART (Cos Art).

На рис. 3 представлены результаты оценок модельных погрешностей расчета средней за сутки средней по городу концентрации CO относительно ПДК. Здесь же показаны данные измерений концентрации CO на станциях мониторинга сети Росгидромета и «Мосэкомониторинг».

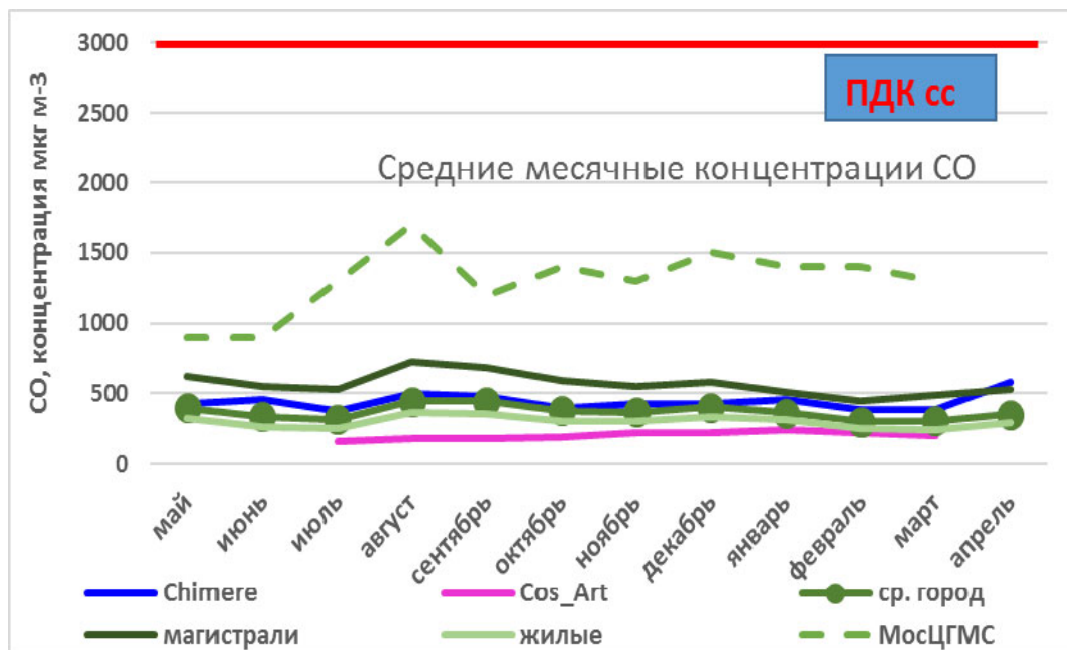


Рис. 3 . Средние за месяц концентрации CO, рассчитанные XTM CHIMERE (Chimere) и COSMO-ART (Cos Art) и измеренные на станциях мониторинга сети Росгидромета (МосЦГМС) и «Мосэкомониторинг» (ср. город). Красная линия – ПДКсс.

Положительный эффект комплексирования прогнозов двух XTM демонстрирует рис. 4. При систематическом занижении расчетов PM10 моделью COSMO-ART и завышении величин PM10 моделью CHIMERE комплексирование расчетов позволило приблизиться к усредненной по всем станциям мониторинга концентрации PM10. Одновременно можно заметить, что в холодный период изменчивость PM10 на территории города минимальная, а в теплый период содержание PM10 в прилегающих к магистралям районах почти в 2 раза превышает концентрацию PM10 на территориях городского (жилого) типа.

Предложенные в Методике способы сравнений модельных и измеренных величин средних по городу уровней загрязнения позволяют получить основные показатели качества модельного прогнозирования уровня загрязнения воздуха. Установление систематических погрешностей на основе сравнений является основанием для применения процедуры постпроцессинга, результатом которого является минимизация модельных отклонений «прогноз – измерение» средних по городу концентраций загрязняющих веществ.

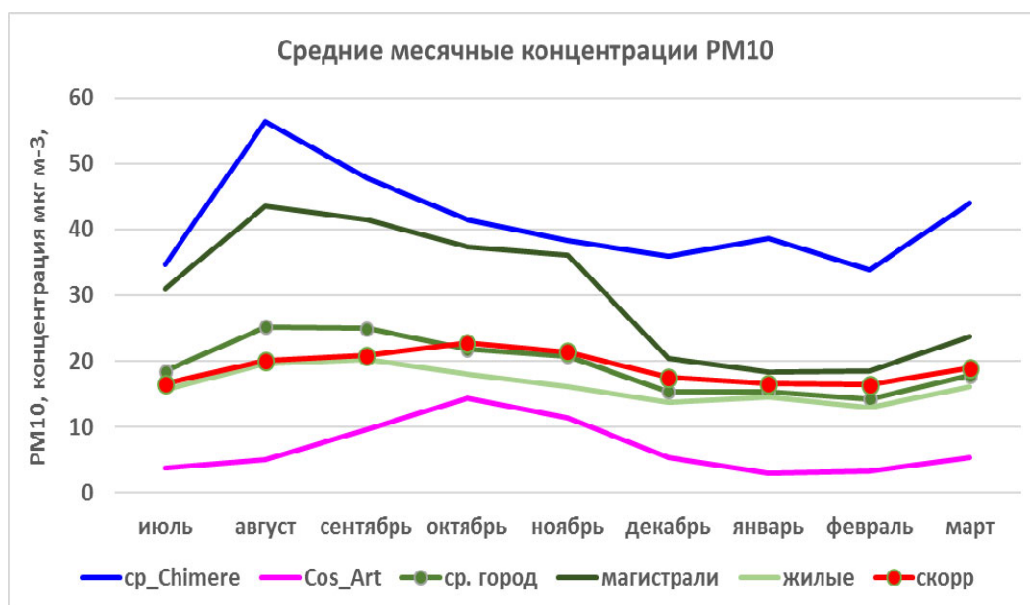


Рис. 4 . Средние за месяц концентрации PM10, рассчитанные XTM CHIMERE (Chimere) и COSMO-ART (Cos Art) и измеренные на станциях мониторинга «Мосэкомониторинг».
Красная линия – комплексированный расчет PM10.

По результатам испытаний предложено:

а) внедрить в ФГБУ «Гидрометцентр России» «Методику прогнозирования средних по городу уровней загрязнения атмосферного воздуха с использованием мезомасштабных численных моделей атмосферы и химических транспортных моделей»;

б) провести опытную апробацию результатов прогнозирования среднего по городу уровня загрязнения согласно Методике на основе модельного комплекса XTM в подразделениях Росгидромета (МосЦГМС).

Список литературы

1. Блинов Д.В., Ривин Г.С. Система краткосрочного негидростатического прогноза погоды COSMO-Ru: технологическая линия // Труды Гидрометцентра России. – 2017. – Вып. 365. – С. 142–162.

2. Вильфанд Р.М., Курсанов А.А., Ревокатова А.П., Ривин Г.С., Суркова Г.В. Прогноз перемещения и трансформации загрязняющих веществ в атмосфере с помощью модели COSMO-ART // Метеорология и гидрология. – 2017. – № 5. – С. 31–40.

3. Вильфанд Р.М., Кузнецова И.Н., Шалыгина И.Ю., Звягинцев А.М., Нахаев М.И., Захарова П.В., Лапченко В.А. Мониторинг и прогнозирование качества воздуха в Московском регионе // Биосфера. – 2014. – Т. 6, № 4. – С. 339–351.

4. Кирсанов А.А., Кострова У.В., Ревокатова А.П., Ривин Г.С., Суркова Г.В. Прогноз концентраций загрязняющих веществ в атмосфере на основе системы COSMO-Ru-ART // Турбулентность, динамика атмосферы и климата. – М.: Физматкнига, 2018. – С. 356–362.

5. Кузнецова И.Н., Шалыгина И.Ю., Нахаев М.И., Ткачева Ю.В., Ривин Г.С., Кирсанов А.А., Борисов Д.В., Лезина Е.А. Система прогнозирования качества воздуха на основе химических транспортных моделей // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. – 2019. – № 4 (374). – С. 203–218.

6. Нахаев М.И., Березин Е.В., Шалыгина И.Ю., Кузнецова И.Н., Коновалов И.Б., Блинов Д.В. Прогнозирование концентраций загрязняющих веществ в атмосфере с применением химической транспортной модели CHIMERE и модели COSMO-Ru7 // Труды Гидрометцентра России. – 2015. – Вып. 357. С. 146–164.

7. Нахаев М.И., Кузнецова И.Н., Шалыгина И.Ю. Оперативные технологии прогноза показателей качества приземного воздуха // Труды Гидрометцентра России. – 2017. – Вып. 365. – С. 71–80.

8. Ревокатова А.П., Суркова Г.В., Кирсанов А.А., Кислов А.В., Ривин Г.С. Прогноз загрязнения атмосферы Московского региона с помощью модели COSMO-ART // Вестник МГУ. Сер.: География. – 2012. – Вып. IV. – С. 25–33.

9. Ривин Г.С., И.А. Розинкина, Р.М. Вильфанд и др. Система COSMO-Ru негидростатического мезомасштабного краткосрочного прогноза погоды Гидрометцентра России: второй этап реализации и развития // Метеорология и гидрология. – 2015. – № 6. – С. 58–70.

10. РД 52.04.306-92. Охрана природы. Атмосфера. Руководство по прогнозу загрязнения воздуха.

11. Шалыгина И.Ю., Кузнецова И.Н., Нахаев М.И., Коновалов И.Б., Захарова П.В. Прогнозирование метеорологических условий и загрязнения воздуха с применением данных численной модели атмосферы и химической транспортной модели // Труды Гидрометцентра России. – 2017. – Вып. 365 – С. 81–93.

12. Baklanov A., Grimmond C.S.B., Carlson D., Terblanche D. et al. From urban meteorology, climate and environment research to integrated city services // Urban Climate. ICUC9 -9th International Conference on Urban Climate jointly with 12th Symposium on the Urban Environment, 2017. – http://www.meteo.fr/icuc9/LongAbstracts/tukup4-1-4061232_a.pdf

13. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 // EEA Report. – 2016. – No. 21. doi:10.2800/247535.

14. Joint Report of COST Action 728 and GURME – Overview of Tools and Methods for Meteorological and Air Pollution Mesoscale Model Evaluation and User Training // WMO/TD-No. 1457. – November 2008. – 121 p. – https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo-td_1457.pdf.

15. *Kim Y. Wu You, Seigneur C., Roustan Y.* Multi-scale modeling of urban air pollution: development and application of a street-in-grid model (v1.0) by coupling Munich (v1.0) and polair3d (v1.8.1) // *Geoscientific Model Development*. – 2018. – Vol. 11. – P. 611–629. – <https://doi.org/10.5194/gmd-11-611-2018>.

16. *Kukkonen J., Olsson T., Schultz D. M. et al.* A review of operational, regional-scale, chemical weather forecasting models in Europe // *Atmos. Chem. Phys.* – 2012. – Vol. 12. – P. 1–87.

17. Review of the capabilities of meteorological and chemistry-transport models for describing and predicting air pollution episodes // WMO/TD-No. 1502. – December 2009. – <https://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/documents/>

18. *Rivin G.S. , Rozinkina I.A. , Vilfand R.M. , Astakhova E.D., et al.* COSMO-Ru: operational mesoscale numerical weather prediction system of the Hydrometcenter of Russia. Current status and recent developments // *Res. Act. Atm. Oceanic Modelling*. – 2018. – Vol. 18, no. 15. – P. 5.11–5.12.