

УДК 551.510.42+504.75

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА С ПРИМЕНЕНИЕМ ДАННЫХ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ АТМОСФЕРЫ И ХИМИЧЕСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ МОДЕЛИ

*И.Ю. Шалыгина¹, И.Н. Кузнецова¹, М.И. Нахаев¹,
И.Б. Коновалов², П.В. Захарова³*

*¹Гидрометеорологический научно-исследовательский центр
Российской Федерации, г. Москва;*

²Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород;

*³Центральная аэрологическая обсерватория, г. Долгопрудный
irushalyg@gmail.com*

Описана реализованная в Гидрометцентре России оперативная технология прогноза метеорологического показателя рассеивания примеси и загрязнения приземного воздуха (МПРЗ) – аналога синоптического предиктора в схеме прогноза загрязнения городского приземного воздуха. Обсуждаются вопросы применения расчетов химических транспортных моделей для прогнозирования средних суточных и максимальных концентраций загрязняющих веществ в городе в среднем, а также с разделением на территории городского типа и примагистральные.

Ключевые слова: моделирование загрязнения атмосферы, химическая транспортная модель CHIMERE, анализ состояния загрязнения атмосферы.

Введение

В сетевых подразделениях Росгидромета регулярно составляется специализированный прогноз метеорологических условий загрязнения воздуха для 408 городов и промышленных центров России [12] с целью своевременного предупреждения о возможности негативного влияния загрязнения воздуха и составления рекомендаций по сокращению выбросов в атмосферу в периоды неблагоприятных для очищения воздуха метеорологических условий (НМУ). Для прогнозирования НМУ и загрязнения воздуха в целом по городу применяются статистические схемы, основанные на установленных по данным наблюдений связях показателя загрязнения (параметра Р) с метеорологическими характеристиками [10]. Основной вес в таких схемах прогноза имеет предиктор, характеризующий текущий уровень загрязнения воздуха. По определению [10], этот параметр существенно зависит от числа используемых для его расчета данных наблюдений.

С учетом перспективы развития сетевых наблюдений увеличивается актуальность применения расчетных методов в мониторинге

качества воздуха. В представленной работе обсуждаются разработанные в Гидрометцентре России методы оценки и прогнозирования метеорологического показателя рассеивания загрязняющих веществ (МПРЗ) как основы для статистического прогноза загрязнения приземного воздуха и прогноза НМУ. Рассматривается возможность применения региональной химической транспортной модели для прогноза качества воздуха в целом по городу.

Оценка и прогноз метеорологических условий рассеивания примеси

Метеорологический показатель рассеивания примеси и загрязнения приземного воздуха (МПРЗ), разработанный в Гидрометцентре России, является аналогом синоптического предиктора, используемого в схемах прогноза загрязнения воздуха в подразделениях Росгидромета. МПРЗ основан на установленных связях изменчивости малых газовых составляющих и взвешенных частиц под влиянием комплекса метеорологических параметров, который определяют следующие характеристики: скорость ветра в пограничном слое воздуха, термическая стратификация, осадки, адвективные изменения температуры. Алгоритм расчета МПРЗ подробно описан в [2, 6]; с учетом характерной внутрисуточной динамики условий рассеивания с соответствующими колебаниями уровня загрязнения в нем предусмотрено определение типа МПРЗ, преобладающего в шестичасовом интервале (вечер, ночь, утро, день). В настоящее время прогнозирование МПРЗ осуществляется для областей Центрального федерального округа на основе прогностических метеорологических полей температуры, скорости ветра и осадков мезомасштабной модели атмосферы COSMO-Ru7 [9].

Для верификации метода прогноза МПРЗ были использованы данные измерений концентраций CO и NO сети «Мосэкомониторинг» (www.mosecom.ru), а также данные наблюдений на сети Центрального УГМС Росгидромета, где, в отличие от непрерывных измерений на муниципальной сети, наблюдения загрязняющих веществ проводятся четыре раза в сутки. Пример совмещенного временного хода концентрации CO (по измерениям на сети «Мосэкомониторинг»), параметра P, рассчитанного по четырехсрочным наблюдениям, и МПРЗ представлен на рис. 1. Можно отметить достаточно высокую согласованность изменчивости концентрации CO и МПРЗ. О тесноте их связей, как и между МПРЗ и NO, свидетельствует коэффициент детерминации ($R^2 \approx 0,5$). Значимая количественная связь параметра P с первичными загрязняющими веществами CO и NO, по нашим расчетам, отсутствует ($R^2 \approx 0,11-0,15$). Отметим, что для расчета параметра P используются измеренные концентрации всех загрязняющих веществ (в т. ч. NO₂, CH₂O, TЧ – пыль и др.). Надо принимать во внимание, что

образующиеся в городском воздухе продукты вторичного загрязнения (например, NO_2) в меньшей степени зависят от метеорологических условий [3].

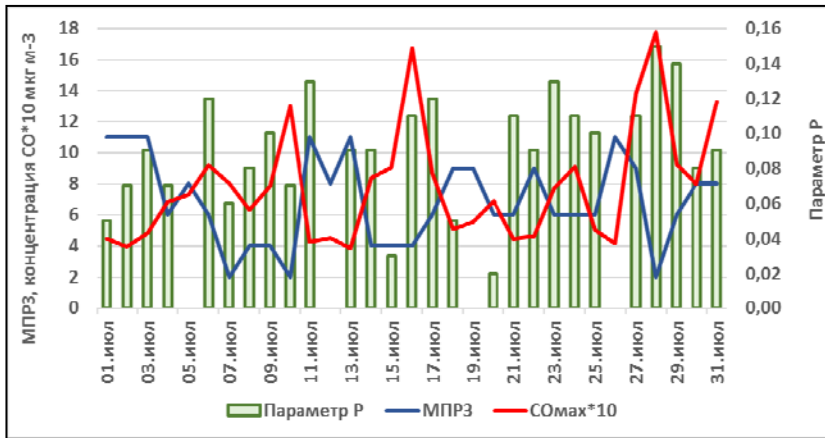


Рис. 1. Временной ход МПРЗ, параметра Р и концентрации СО. Июль 2014 г. Москва.

Проведенный анализ причин несовпадений прогнозируемого типа МПРЗ и изменения измеренных концентраций СО и NO показал, что большая часть таких случаев имела место при ошибках прогноза метеорологических параметров (температурная стратификация, скорость ветра), рассчитываемых по прогностическим данным модели атмосферы. Незначительная часть несовпадений прогнозируемого типа МПРЗ и загрязнения приземного воздуха, возможно, связана с изменчивостью эмиссий внутри недельного цикла [4].

Вывод о наличии тесной связи изменчивости первичных загрязнителей воздуха с диагностическим МПРЗ, полученный по результатам сравнения, важен с позиций надежности применения его для прогнозирования НМУ. Повышенные требования к точности прогноза НМУ определяются ведомственными нормативными документами [10–12], а также Порядком предоставления информации о неблагоприятных метеорологических условиях (Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации № 899 от 17.11.2011).

С учетом инерционного механизма накопления загрязняющих веществ в приземном воздухе при ослаблении интенсивности перемешивания, учитывая также особенности сезонной и внутрисуточной динамики загрязнения городского воздуха, предложено различать степень опасности НМУ в зависимости от их продолжительности. Соответствие типа НМУ, их продолжительности и ранжирование по степени опасности (от преобладающих в течение суток НМУ до кратковременных НМУ₂) показано в табл. 1.

Таблица 1. Определение типа НМУ в зависимости от продолжительности

Тип	Продолжительность	Качественная оценка НМУ	Сезонная зависимость НМУ
НМУ	в течение суток	преобладание	Характерны для зимних условий
НМУ ₁	13-18 ч	с вечера до утра (вечер, ночь, утро)	Характерны для переходных сезонов и зимних месяцев. Летом наблюдаются редко, могут служить основой прогноза НМУ для одиночных источников при отсутствии прогноза НМУ для города в целом
НМУ ₂	7-10 ч	кратковременные (вечер-ночь, ночь-утро)	Характерны для летнего сезона

В реализованной в Гидрометцентре России технологии МПРЗ рассчитывается для каждого часа суток, затем для шестичасовых внутри-суточных интервалов определяется преобладающий тип МПРЗ. Результаты визуализируются в виде карт полей МПРЗ с детализацией трех типов, соответствующих интенсивному, умеренному и слабому рассеиванию примесей с индексами, соответственно, 1, 2 и 3. По сочетанию прогностических величин МПРЗ в шестичасовых временных интервалах автоматически готовится заключение о возможности формирования и типе НМУ в случаях их наступления (табл. 2).

Таблица 2. Прогноз и интерпретация МПРЗ

Прогностические значения показателя				Заключение
вечер	ночь	утро	день	
1	1	1	1 или 2	НМУ
1	2	1	2	НМУ
2	1	1	2	НМУ
1	1	1	3	НМУ ₁
1	1	2	2	НМУ ₁
1	1	2	3	НМУ ₁
1	2	1	3	НМУ ₁
2	1	1	3	НМУ ₁
2	1	2	2	НМУ ₁
1	2	2	3	НМУ ₂
1	2	2	2	НМУ ₂
1	1	3	2 или 3	НМУ ₂
3	1	1	2	НМУ ₂
Все другие сочетания МПРЗ				НМУ не ожидается

Формализация процедуры интерпретации прогноза МПРЗ имеет целью сделать оценки ожидаемых метеорологических условий, влияющих на процессы рассеивания и накопления загрязняющих веществ, более объективными, что важно в оперативной практике прогнозирования загрязнения воздуха для принятия решения при подготовке предупреждения об ожидании НМУ с целью рекомендации по сокращению выбросов. Имеет значение и то обстоятельство, что во многих подразделениях Росгидромета сегодня отсутствуют группы специализированного прогнозирования и прогноз загрязнения воздуха составляется специалистами-синоптиками.

Метод диагностического расчета МПРЗ в 2015 г. был рассмотрен Центральной методической комиссией по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам (ЦМКП) Росгидромета и рекомендован для использования в Гидрометцентре России для прогнозирования метеорологических условий рассеивания примесей на текущие и следующие сутки. В Центральном УГМС и его некоторых филиалах проведена независимая проверка успешности прогноза МПРЗ с целью установления систематических погрешностей метода расчета МПРЗ и региональных особенностей связи МПРЗ с уровнем загрязнения в городах.

Прогноз загрязнения городского воздуха по данным расчетов ХТМ

В большинстве европейских стран прогнозирование качества воздуха в городах и на фоновых территориях осуществляется на основе расчетов химических транспортных моделей (ХТМ). В Гидрометцентре России в режиме оперативного счета расчет полей концентраций загрязняющих веществ для областей ЦФО осуществляется в системе COSMO-Ru7-ART [1], (<http://www.imk-tro.kit.edu/english/3509.php>) и ХТМ CHIMERE (<http://www.lmd.polytechnique.fr/chimere/>). ХТМ CHIMERE была адаптирована к условиям европейской части России И.Б. Коноваловым в 2007 году [5]. Для установления качества модельного прогноза и выявления систематических погрешностей в Гидрометцентре России регулярно проводится сравнение модельных расчетов с концентрациями, измеренными в пунктах наблюдений сети «Мосэкомониторинг» [7, 8, 13, 14].

В текущей конфигурации ХТМ CHIMERE [17] рассчитываются поля концентраций загрязняющих веществ для каждого часа предстоящих двух суток на модельной сетке с горизонтальным разрешением 11×11 км (рис. 2а) с использованием метеорологических полей модели COSMO-Ru7 и данных об эмиссиях ЕМЕП на сетке 11×11 км (<http://www.ceip.at/>). На рис. 2б показано поле эмиссий угарного газа (СО) кадастра ЕМЕП. Учитывая, что основным источником антропогенного загрязнения воздуха в Москве является транспорт

(<http://www.mosecom.ru/reports/>), надо признать лишь частичное совпадение поля эмиссий кадастра ЕМЕР с конфигурацией реальных выбросов на том основании, что оно должно отражать городскую транспортную сеть, практически равномерно распределенную по территории города.

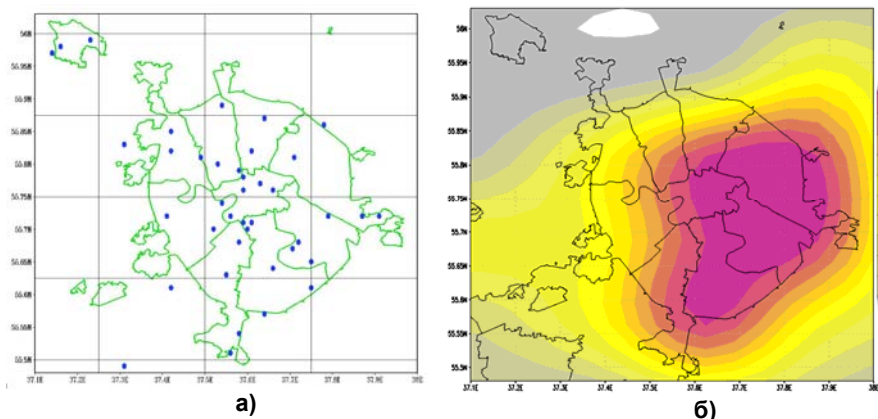


Рис. 2. Расчетная сетка XTM CHIMERE, точками обозначены АСКЗА Мосэкомониторинг (а), поле годовых эмиссий CO, молекула $\text{см}^{-2} \text{с}^{-1}$ (б).

Как следствие особенности пространственного распределения используемых в XTM CHIMERE эмиссий, максимум модельных концентраций в преобладающем диапазоне атмосферных процессов приходится на центральные модельные ячейки, вписывающиеся в границы города (рис. 2а); в условиях ослабленного перемешивания воздуха он смещается в соседнюю от центра ячейку в соответствии с направлением переноса. Также установлено, что в периоды НМУ модельный максимум концентраций CO, NO_x по величине близок к максимальным наблюдающимся на городских станциях мониторинга значениям. На рис. 3 отображены данные измерений концентрации CO на 32 станциях автоматического контроля загрязнения атмосферы (АСКЗА) и модельные расчеты XTM CHIMERE. Здесь представлены концентрации, усредненные по 9 модельным ячейкам, в ячейке с максимальными и наименьшими значениями – красные линии на рис. 3 (толстая – средняя по ячейкам, штриховая – в ячейке с максимумом, тонкая – в ячейке с минимумом).

Нельзя не заметить преобладающее совпадение эпизодов самого значительного увеличения загрязнения с модельными расчетами (9, 26 января, 3 февраля), так же как и близкие значения концентрации «модель – измерение» в продолжительных периодах пониженного уровня загрязнения (зеленые стрелки на рис. 3). Одновременно следует указать

на характерное для ХТМ СИМЕРЕ завышение концентрации CO , о чем свидетельствует и регулярный мониторинг качества модельных расчетов. На рис. 3 линии с маркерами показывают концентрации вблизи городских транспортных магистралей: синие линии с круглым маркером с заливкой – АСКЗА Спартаковская, с квадратом – АСКЗА Бирюлево, с ромбом – АСКЗА Пролетарский проспект, с треугольником с заливкой – АСКЗА Н. Масловка (www.mosecom.ru). Как видно, величины и вариации концентрации на примагистральных станциях отличаются от общего фона и мало связаны с погодными условиями.

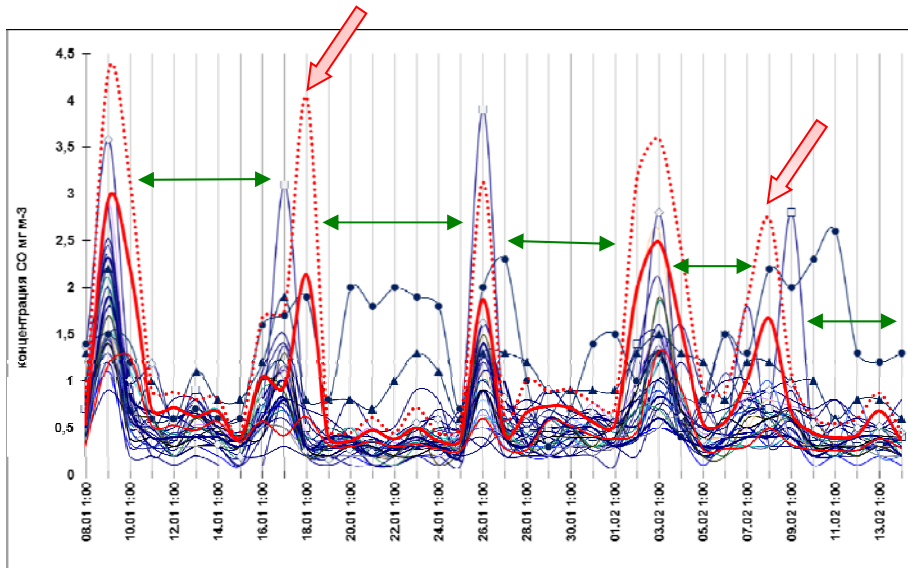


Рис. 3. Временной ход концентрации CO по расчетам ХТМ СИМЕРЕ и измеренной на АСКЗА Мосэкомониторинг (www.mosecom.ru). 8 января – 13 февраля 2017 г.

Важно, что при значительном диапазоне изменчивости измеренных на городских станциях концентраций CO и его увеличении в эпизодах НМУ в 2–3 раза, представленные на рис. 3 прогностические значения концентраций (прогноз во вторые сутки) согласуются с происходящими под воздействием атмосферных процессов флуктуациями CO . Можно отметить лишь один эпизод явно «неудачного» модельного прогноза в представленном временном ряде: модельное повышение уровня CO (в максимуме почти до ПДК_{м.р.}) в ночь на 18 января вместо резкого уменьшения концентраций (красная стрелка на рис. 3). Причиной этого «ложного» прогноза, как показал анализ, стали ошибки прогноза метеорологических характеристик в пограничном слое, в комплексе приведших к увеличению загрязнения при наблюдавшихся усилении ветра и небольшой адвекции холода, обеспечивших резкое понижение уровня CO . Надо отметить и менее яркий

пример «ложного» модельного прогноза с повышением уровня CO (в 2–3 раза по сравнению с фоновым), составленный 6 на 8 февраля 2017 года.

Одним из важнейших выводов проведенного сравнительного анализа «модельный расчет – измерение» является заключение о зависимости модельных погрешностей от ошибок метеорологического прогноза в большей степени, чем от неточности используемых эмиссий.

Одной из причин неточных модельных расчетов концентраций могут быть и принятые параметризации процессов в городской атмосфере, в частности интенсивности вертикального обмена в нижних слоях атмосферы. Такого рода проблемы обсуждаются в ряде зарубежных публикаций, посвященных применению XTM CHIMERE для расчетов концентрации загрязняющих веществ в Европе [18]; авторы планируют провести подобные исследования.

Вместе с тем, используя расчеты XTM CHIMERE в текущей ее конфигурации, на примере г. Москва выполнены оценки возможности прогнозирования загрязнения городского воздуха по аналогии с применяемым в оперативной практике Росгидромета прогнозом загрязнения «в целом по городу» [10]. С учетом типового суточного хода загрязняющих веществ [13], горизонтального разрешения модельной сетки XTM CHIMERE, установленных особенностей модельных расчетов, прогноз загрязнения *в среднем по городу* Москва предложено представлять следующими характеристиками, рассчитываемыми для каждого загрязняющего вещества:

– *средняя за сутки концентрация в городе* ($C_{\text{иг mean}}$), рассчитанная по значениям в девяти узлах модельной сетки, с указанием *диапазона* изменчивости концентрации на городской территории, границы которого определяются наименьшей ($C_{\text{иг min}}$) и наибольшей ($C_{\text{иг max}}$) за сутки концентрацией в узлах модельной сетки. (Примечание: При статистически надежных выборках, позволяющих получить достоверные результаты модельных ошибок, диапазон может задаваться установленной модельной погрешностью.)

– *максимальные концентрации* $C_{\text{иг max}}$ *в первой и второй половине суток* с указанием усредненного максимума ($C(\text{I})_{\text{max mean}}$, $C(\text{II})_{\text{max mean}}$) и *диапазона*, границы которого определяются наименьшим ($C_{\text{max(i) min}}$) и наибольшим ($C_{\text{max(i) max}}$) максимумом концентрации в узлах модельной сетки за период (первая, вторая половина суток).

Почасовые модельные расчеты позволяют определить временной интервал образования наибольшего уровня загрязнения ($\tau \pm 1$ час).

Используя модельные расчеты часовых концентраций CO , NO , NO_2 и PM_{10} за шесть месяцев 2017 г. (январь – июнь), выполнено сравнение ($C_{\text{иг mean}}$, $C(\text{I})_{\text{max}}$, $C(\text{II})_{\text{max}}$ и других характеристик) с данными измерений концентраций на 36 АСКЗА Мосэкомониторинг. По аналогии

с зарубежными исследованиями [18], сравнение проводилось с усредненными концентрациями загрязняющих веществ на двух типах станций: «городского» типа и «примагистральных» (в англоязычной литературе соответственно «urban» и «traffic»). В табл. 3 показана средняя по городу концентрация CO, NO, NO₂ и PM₁₀: рассчитанная ХТМ CHIMERE ($C_{\text{г. mean}}$) и измеренная на всех АСКЗА ($C_{\text{ср.}}$), на примагистральных ($C_{\text{ср. тр}}$) и городского типа ($C_{\text{ср. гор}}$). На использованной выборке получено хорошее совпадение средней по городу концентрации всех веществ ($C_{\text{изм}}$) с модельным расчетом средней суточной концентрации в целом для города ($C_{\text{г. mean}}$).

Таблица 3. Средние суточные концентрации (мг·м⁻³), рассчитанные ХТМ CHIMERE и усредненные по данным измерений на АСКЗА. Январь – июнь 2017 г.

	Модельный расчет			Измерения на АСКЗА		
	$C_{\text{г. mean}}$	$C_{\text{г. max}}$	$C_{\text{г. min}}$	$C_{\text{изм}}$	$C_{\text{ср. тр}}$	$C_{\text{ср. гор}}$
CO	0,35	0,49	0,20	0,37	0,50	0,30
NO	0,02	0,03	0,004	0,02	0,03	0,01
NO ₂	0,03	0,04	0,02	0,04	0,05	0,04
PM ₁₀	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02

Оказалось, что модельный максимум средней суточной величины на территории города близок к усредненным концентрациям на АСКЗА примагистрального типа, а минимум – к усредненным концентрациям на АСКЗА городского типа. Отклонение «модель – измерение» названных величин находится в пределах $\pm 0,01$ мг·м⁻³. Рассчитанный по выборке 6 месяцев коэффициент корреляции между измеренными и модельными величинами средней суточной концентрации CO и NO составил 0,72, NO₂ и PM₁₀ – 0,62.

Принимая во внимание динамику суточного хода загрязняющих веществ с характерными максимумами в утренние часы и вечером, проведена оценка их отображения модельными расчетами. По часовым значениям концентрации в узлах модельной сетки отобраны максимумы в первой и во второй половине суток ($C(I)_{\text{max}}$, $C(II)_{\text{max}}$). По наблюдениям рассчитаны средние за месяц величины максимумов на территориях городского типа ($C(I, II)_{\text{max гор}}$) и примагистральных ($C(I, II)_{\text{max тр}}$), которые сравнивались со средними за месяц максимумами в узлах модельной сетки на территории города с наименьшими и наибольшими значениями, делая предположение, что наибольшие из узловых значений максимумов отражают наиболее высокий уровень загрязнения вблизи крупных автомагистралей, а наименьшие максимумы – на территории городского типа.

Установлено, что по *модельным расчетам* утренний максимум концентрации CO, NO и PM₁₀ в рассматриваемый период больше вечернего (NO₂ – примерно одинаковы); по *данным измерений* главный суточный максимум утром характерен только для NO. Большой, чем утром, вечерний максимум характерен также для концентрации NO₂ и PM₁₀. Главный максимум концентрации CO (в отличие от оксидов азота и PM₁₀) формируется в холодный период в первую половину дня, а с мая по сентябрь – вечером. По расчетам коэффициент корреляции (R) между наблюдаемыми и модельными значениями составил: для утреннего максимума CO R=0,52, для вечернего максимума R=0,42 (N=181).

Некоторые результаты расчетов максимальной концентрации CO, а также отклонения их от измеренных концентраций представлены в табл. 4. Видно небольшое систематическое занижение максимумов в прогнозе (в среднем на 0,1–0,2 мг·м⁻³), за исключением утреннего максимума на примагистральных территориях, который немного превышал наблюдавшийся во все месяцы, кроме мая.

Таблица 4. Рассчитанная максимальная концентрация CO (мг м⁻³) в первую и вторую половину дня (C(I)_{max} и C(II)_{max}) и разность максимумов «модель – измерение» (ΔC). Январь – июнь 2017 г.

	C(I) _{max}				C(II) _{max}			
	модель		модель-измерение		модель		модель-измерение	
	C _{гор}	C _{тр}	ΔC _{гор}	ΔC _{тр}	C _{гор}	C _{тр}	ΔC _{гор}	ΔC _{тр}
Январь	0,32	0,79	-0,14	0,1	0,31	0,66	-0,11	0,01
Февраль	0,28	0,73	-0,13	0,04	0,25	0,58	-0,13	-0,09
Март	0,3	0,77	-0,21	-0,02	0,29	0,62	-0,17	-0,12
Апрель	0,29	0,74	-0,08	0,08	0,23	0,53	-0,15	-0,16
Май	0,27	0,94	-0,09	0,3	0,23	0,73	-0,2	-0,06
Июнь	0,22	0,8	-0,14	0,13	0,19	0,72	-0,24	-0,09
<i>Среднее</i>	<i>0,28</i>	<i>0,8</i>	<i>-0,13</i>	<i>0,11</i>	<i>0,25</i>	<i>0,64</i>	<i>-0,17</i>	<i>-0,09</i>

Неустойчивость величин и знака разности «модель – измерение» свидетельствует о статистически ненадежных исследуемых рядах (использованы данные за одно полугодие). Вместе с тем, значительная доля расчетных погрешностей концентраций, как показал анализ отдельных отклонений, является следствием неудачного прогноза метеорологических параметров. Например, завышение максимальных концентраций CO в утренние часы в мае (в среднем на 0,3 мг·м⁻³) указывает на повышенную частоту прогноза неблагоприятных для рассеивания атмосферных условий, а занижение в прогнозе CO на 0,2–0,24 мг·м⁻³ (утром в марте, вечером в мае-июне) – на «пропуск»

таких условий или более интенсивные, чем наблюдались, процессы перемешивания в пограничном слое атмосферы. При этом необходимо отметить, что были использованы данные расчетов ХТМ CHIMERE с применением линейной коррекции концентрации CO, NO, NO₂ на основании результатов ранее проведенных исследований [13, 14].

Заключение

С использованием данных системы COSMO-Ru7 в оперативном режиме в Гидрометцентре России рассчитывается комплексный метеорологический показатель рассеивающей способности атмосферы (МППЗ) – аналог синоптического предиктора в схеме прогноза загрязнения воздуха в целом по городу. Метод автоматизированного расчета МППЗ прошел авторскую и независимую проверку в сетевых подразделениях Центрального УГМС, имеет преимущество перед синоптическим методом прогноза метеорологических условий загрязнения, что особенно важно при прогнозировании НМУ, соответственно, при составлении предупреждений о необходимости сокращения вредных выбросов в атмосферу.

Впервые с использованием расчетов химической транспортной модели CHIMERE с усвоением метеорологических данных модели COSMO-Ru7 проведена предварительная оценка успешности прогноза средних суточных концентраций загрязняющих веществ в городе в среднем, а также с разделением на территории городского типа и при магистральные. На исследуемой выборке (январь – июнь 2017 г.) установлены незначительные отклонения «модель – измерение» средней суточной концентрации NO, NO₂, PM₁₀ (около 0,01 мг·м⁻³) и CO (менее 0,1 мг·м⁻³), что указывает на перспективность применения ХТМ для прогнозирования качества воздуха в целом по городу по аналогии с используемыми в оперативной практике подразделений Росгидромета синоптико-статистическими методами.

По результатам проверки успешности модельного расчета максимальных за сутки концентраций на ограниченной выборке выявлено, что утренний максимум воспроизводится моделью с большей успешностью, чем вечерний, что указывает на необходимость коррекции модельного суточного хода эмиссий, а также оптимизацию параметризации процессов вертикального обмена в пограничном атмосферном слое.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 15-45-02516.

Поступила в редакцию 21.08.2017 г.

Список использованных источников

1. Вильфанд Р.М., Кирсанов 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.
2. Вильфанд Р.М., Кузнецова И.Н., Шалыгина И.Ю., Звягинцев А.М., Нахаев М.И., Захарова П.В., Липченко В.А. Мониторинг и прогнозирование качества воздуха в Московском регионе // Биосфера. 2014. Т. 6, № 4. С. 339-351.
3. Горчаков Г.И., Семутникова Е.Г., Аношин Б.А., Карпов А.В., Колесникова А.Б. Статистический прогноз загрязнения городской атмосферы. 1. Статистические закономерности межсуточной изменчивости концентраций угарного газа и оксидов азота // Оптика атмосферы и океана. 2010. Т. 23, № 3. С. 211-217.
4. Горчаков Г.И., Семутникова Е.Г., Карпов А.В., Колесникова А.Б., Байкова Е.С., Задорожная О.С. Недельный цикл загрязнения воздуха в г. Москве: количественные характеристики и уточнение методики статистического прогноза концентраций примесей // Оптика атмосферы и океана. 2010. Т. 23, № 9. С. 784-792.
5. Коновалов И. Б., Еланский Н.Ф., Звягинцев А.М., Беликов И.Б., Бикманн М. Валидация химически-транспортной модели нижней атмосферы Центрально-Европейского региона России с использованием данных наземных и спутниковых измерений // Метеорология и гидрология. 2009. № 4. С. 65-74.
6. Кузнецова И.Н., Шалыгина И.Ю., Нахаев М.И., Глазкова А.А., Захарова П.В., Лезина Е.А., Звягинцев А.М. Неблагоприятные для качества воздуха метеорологические факторы // Труды Гидрометцентра России. 2014. Вып. 351. С. 154-172.
7. Нахаев М.И., Березин Е.В., Шалыгина И.Ю., Кузнецова И.Н., Коновалов И.Б., Блинов Д.В., Лезина Е.А. Экспериментальные расчеты концентраций PM10 и CO комплексом моделей CHIMERE и COSMO-Ru7 // Оптика атмосферы и океана. 2015. Т. 28, № 06. С. 569-578.
8. 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.
9. Ривин Г.С., Розинкина И.А., Блинов Д.В. Технологическая линия системы краткосрочных мезомасштабных оперативных прогнозов погоды COSMO-Ru с шагом сетки 7 км // Труды Гидрометцентра России. 2012. Вып. 347. С. 61-80.
10. Руководство по прогнозу загрязнения воздуха. РД 52.04.306-92. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. 72 с.
11. Система прогноза и предотвращения высоких уровней загрязнения воздуха в городах. СПб, Гидрометеиздат, 2004. 128 с.
12. Состояние работ по прогнозу загрязнения воздуха в городах Российской Федерации: Информационный бюллетень. 2015. 92 с.
13. Шалыгина И.Ю., Кузнецова И.Н., Нахаев М.И., Коновалов И.Б., Березин Е.В. Суточный ход загрязняющих воздух веществ по измерениям и расчетам химической транспортной модели// Труды Гидрометцентра России. 2016. Вып. 360. С. 149-167.
14. Шалыгина И.Ю., Нахаев М.И., Кузнецова И.Н., Березин Е.В., Коновалов И.Б., Блинов Д.В., Кирсанов А.А. Сравнение рассчитанных с помощью химических транспортных моделей приземных концентраций загрязняющих веществ с данными измерений в Московском регионе // Оптика атмосферы и океана. 2017. Т.30, № 1. С. 1-7
15. CHIMERE chemistry-transport model. Institut Pierre Simon Laplace, 2001-2017. <http://www.lmd.polytechnique.fr/chimere/>.
16. Menut L., Bessagnet B., Khvorostyanov D., Beekmann M. et al. CHIMERE-2013: a model for regional atmospheric composition modelling // Geosci. Model Dev. Vol. 6. P. 981-1028. doi:10.5194/gmd-6-981-2013, 2013.

17. Mailler S., Menut L., Khvorostyanov D., Valari M. et al. CHIMERE-2017: from urban to hemispheric chemistry-transport modeling // *Geosci. Model Dev.* 2017. Vol. 10. P. 2397-2423, <https://doi.org/10.5194/gmd-10-2397-2017>.

18. Terrenoire E., Bessagnet B., Rouil L., Tognet F. et al. High-resolution air quality simulation over Europe with the chemistry transport model CHIMERE // *Geosci. Model Dev.* 2015. Vol. 8. P. 21–42.

SUMMARIES

Forecasting of weather conditions and air pollution with application of data of the numerical model of the atmosphere and a chemical transport model / Shalygina I.Yu., Kuznetsova I.N., Nakhaev M.I., Konovalov I.B., Zaharova P.V. // *Proceedings of the Hydrometcentre of Russia.* 2017. Vol. 365. P. 81-93.

The article gives the description of the implemented in the Hydrometeorological center of Russia operational technologies for the forecast of the meteorological indicator of dispersion of impurity and pollution of the ground air (MPRZ) which is an analog of a synoptic predictor in the scheme of the forecast of the ground air pollution in a city. Presented are Issues of application of calculations of chemical transport models for forecasting average daily allowance and the maximum concentration of pollutants in a city on average and with the division into urban territories and traffic.

Keywords: modeling of air pollution, chemistry-transport model CHIMERE, analysis of state of pollution of the atmosphere.