

## Сравнение рассчитанных с помощью химических транспортных моделей приземных концентраций загрязняющих веществ с данными измерений в Московском регионе

И.Ю. Шалыгина<sup>1</sup>, М.И. Нахаев<sup>1</sup>, И.Н. Кузнецова<sup>1</sup>, Е.В. Березин<sup>2</sup>,  
И.Б. Коновалов<sup>2</sup>, Д.В. Блинов<sup>1</sup>, А.А. Кирсанов<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Гидрометцентр России

123242, г. Москва, Большой Предтеченский пер., 11–13

<sup>2</sup> Институт прикладной физики РАН

603950, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46

Поступила в редакцию 20.01.2016 г.

Представлены сравнения модельных прогнозов химическими транспортными моделями CHIMERE и COSMO-RU7-ART) загрязнения приземного воздуха с данными измерений в Москве в 2015 г. Обе модели используют прогностические поля метеорологических величин по данным модели атмосферы COSMO-RU7. Установлено, что модели среднюю суточную концентрацию  $PM_{10}$  занижают и прогнозируют с ошибкой в среднем  $0,01–0,02 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ . Концентрацию диоксида азота модель COSMO-RU7-ART рассчитывает с погрешностью в среднем  $0,01–0,02 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ , CHIMERE –  $0,02–0,03 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$  (летом  $0,05–0,08 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ ), систематически завышая  $NO_2$ . Концентрации угарного газа COSMO-RU7-ART чаще всего занижает (на  $0,1–0,2 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ , суточный максимум на  $0,4–0,6 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ ); CHIMERE, напротив, систематически завышает монооксид углерода (на  $0,2–0,35 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ , летом часто на  $0,4–0,5 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ ). Обсуждаются некоторые результаты численных экспериментов по оценке влияния способов определения высоты пограничного слоя на модельные расчеты концентрации монооксида углерода. Высота пограничного слоя рассчитывалась непосредственно в модели CHIMERE и в COSMO-RU7.

**Ключевые слова:** прогноз загрязнения приземного воздуха, химическая транспортная модель CHIMERE, COSMO-RU7-ART, высота пограничного слоя; modeling of air pollution, chemistry-transport model CHIMERE, chemistry-transport model COSMO-RU7-ART, the height of the boundary layer.

### Введение

Практика использования расчетов полей концентраций загрязняющих веществ с помощью химических транспортных моделей (ХТМ) для прогнозирования загрязнения воздуха предполагает ведение мониторинга качества модельных расчетов [1, 2]. Результаты сравнений численных расчетов с данными измерений служат основой для разработки методов постобработки модельных расчетов и являются мотивировкой для развития и усовершенствования технологии оперативного прогнозирования [3–5].

В зарубежных странах применение химических транспортных моделей – устоявшаяся практика, прогнозы качества воздуха в европейских городах

в режиме онлайн доступны на сайте <http://db.eurad.uni-koeln.de/>, в городах Канады и США на сайте [http://ruc.noaa.gov/wrf/WG11\\_RT/](http://ruc.noaa.gov/wrf/WG11_RT/). В нашей стране только в Гидрометцентре России в оперативном режиме осуществляются численные расчеты загрязнения приземного воздуха ([http://www.meteoinfo.ru/index.php?option=com\\_content&view=article&id=13506](http://www.meteoinfo.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=13506)); прогнозирование концентраций проводится для центральных областей европейской части России с использованием химических транспортных моделей CHIMERE и COSMO-RU7-ART [4–8].

До недавнего времени расчеты по модели CHIMERE (V200709D) в Гидрометцентре России проводились с использованием метеорологических данных, полученных с помощью мезомасштабной модели атмосферы WRF ARW 3.1.1 (Weather Research and Forecasting, <http://wrf-model.org>) [6, 9]. В декабре 2014 г. совместно с Институтом прикладной физики РАН (Нижний Новгород) произведена технологическая замена – переход на усвоенную моделью CHIMERE метеорологических данных, рассчитываемых в COSMO-RU7 – системе краткосрочного прогноза погоды, базовой модели

\* Ирина Юрьевна Шалыгина (shalygina@mecom.ru); Мурат Ислемгалеевич Нахаев (muratmeteo@mail.ru); Ирина Николаевна Кузнецова (muza@mecom.ru); Евгений Васильевич Березин (e.berezin@appl.sci-nnov.ru); Игорь Борисович Коновалов (konov@appl.sci-nnov.ru); Денис Викторович Блинов (denisblinov@ya.ru); Александр Андреевич Кирсанов.

Гидрометцентра России [4, 5, 10, 11]. Помимо решения технологических проблем эти изменения позволяют перейти на качественно новый анализ – проводить сравнения расчетов концентраций загрязнений двух ХТМ (CHIMERE и COSMO-RU7-ART), использующих одни и те же поля метеорологических характеристик COSMO-RU7.

В контексте сказанного в данной статье представлены некоторые результаты проведенных исследований:

– демонстрируются показатели успешности прогнозирования концентраций загрязняющих веществ (CO, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>) по двум химическим транспортным моделям;

– обсуждается модельный и наблюдаемый типовой суточный ход концентрации загрязнения на примере монооксида углерода (CO);

– показаны различия расчетных величин высоты пограничного слоя трех моделей и влияние смены способа его расчета на концентрации загрязняющих веществ в ХТМ CHIMERE.

## Использованные данные

В работе использованы почасовые результаты расчетов химико-транспортной модели COSMO-RU7-ART (COntortium for Small-scale MOdelling – Russia Aerosols and Reactive Tracegases) [12, 13] представленные в виде полей концентраций в узлах сетки с горизонтальным разрешением 0,0625°×0,0625° и модели CHIMERE с горизонтальным разрешением 0,25°×0,125° [14]. Расчетные концентрации

загрязняющих веществ из узлов модельной сетки методом билинейной интерполяции пересчитаны на станции мониторинга загрязнения атмосферы с временным шагом 1 ч.

Для анализа использованы данные измерений концентрации CO, диоксида азота (NO<sub>2</sub>) и взвешенных частиц размером менее 10 мкм (PM<sub>10</sub>) на автоматических станциях контроля за загрязнением атмосферного воздуха «Мосэкомониторинг» (www.mosecom.ru).

## Мониторинг качества модельного прогноза концентраций загрязняющих веществ

Мониторинг качества модельного прогноза ведется со времени создания (2011 г.) в Гидрометцентре России технологии численного прогнозирования концентраций загрязняющих веществ в Московском регионе. Целью мониторинга является установление количественных погрешностей модельных расчетов отдельных веществ, адекватность воспроизведения имеющего сезонные особенности суточного хода загрязняющих веществ и процесса повышения уровня загрязнения в периоды неблагоприятных для рассеивания примеси метеорологических условий.

Результаты сравнения модельных и измеренных концентраций загрязняющих веществ CO, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> (CO, NO<sub>2</sub> – на 34 автоматических станциях контроля загрязнения атмосферы (АСКЗА), PM<sub>10</sub> – на 13 АСКЗА) в 2015 г. приведены в табл. 1.

Таблица 1

Статистические показатели модельных ошибок средних суточных и максимальных суточных концентраций загрязняющих веществ (мг · м<sup>-3</sup>) по расчетам ХТМ Cos-ART и Chim/COS в 2015 г.

Модели	Наблюдение	Модель	Ошибка		СКО	Наблюдение	Модель	Ошибка		СКО
			Средняя	Абсолютная				Средняя	Абсолютная	
СС										
Теплый сезон										
CO										
Cos-ART	0,44	0,24	-0,20	0,22	0,21	0,98	0,40	-0,57	0,60	0,61
Chim/COS	0,44	0,96	0,52	0,59	0,65	0,98	1,82	0,84	1,09	1,14
NO <sub>2</sub>										
Cos-ART	0,03	0,04	0,01	0,02	0,01	0,06	0,07	0,01	0,02	0,02
Chim/COS	0,03	0,08	0,05	0,05	0,04	0,06	0,13	0,08	0,08	0,07
PM <sub>10</sub>										
Cos-ART	0,02	0,01	-0,02	0,02	0,01	0,05	0,01	-0,04	0,04	0,04
Chim/COS	0,02	0,02	-0,01	0,01	0,01	0,05	0,03	-0,02	0,03	0,04
Холодный сезон										
CO										
Cos-ART	0,39	0,28	-0,11	0,16	0,19	0,84	0,44	-0,40	0,46	0,53
Chim/COS	0,39	0,58	0,21	0,30	0,36	0,84	1,03	0,24	0,63	0,85
NO <sub>2</sub>										
Cos-ART	0,03	0,04	0,01	0,02	0,02	0,05	0,05	0,00	0,02	0,02
Chim/COS	0,03	0,05	0,02	0,03	0,02	0,05	0,08	0,03	0,04	0,04
PM <sub>10</sub>										
Cos-ART	0,02	0,01	-0,01	0,01	0,01	0,04	0,02	-0,03	0,03	0,03
Chim/COS	0,02	0,01	-0,01	0,01	0,01	0,04	0,02	-0,02	0,02	0,03

Здесь даны показатели успешности прогнозов двух XTM (Cos-ART (химическая транспортная модель COSMO-RU7-ART) и Chim/COS (XTM CHIMERE с усвоением метеорологических данных COSMO-RU7)) средних суточных (СС) и максимальных за сутки (MAX) концентраций загрязняющих веществ, усредненные по всем станциям мониторинга, отдельно для теплого и холодного сезонов.

Наблюдаемые приземные концентрации  $\text{NO}_2$  и  $\text{PM}_{10}$  в воздухе Москвы, как видно в табл. 1, от сезона к сезону меняются мало; в то же время содержание  $\text{CO}$  в приземном воздухе отличается выраженными сезонными колебаниями, заметно уменьшаясь в холодный сезон по сравнению с теплым периодом.

Успешность модельных расчетов обеих XTM (Cos-ART и Chim/COS) концентрации  $\text{PM}_{10}$  удовлетворительная, среднее смещение средних суточных концентраций находится в пределах  $0,01\text{--}0,02 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ , максимальных суточных  $0,02\text{--}0,04 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ . То, что средняя ошибка примерно равна по величине абсолютной погрешности расчетов  $\text{PM}_{10}$ , указывает на систематику модельных ошибок и возможность существенного улучшения качества оперативных прогнозов путем применения статистической коррекции.

Также как и наблюдаемый уровень диоксида азота, расчет величины концентрации  $\text{NO}_2$  модели Cos-ART от сезона к сезону меняется мало; основная часть ошибок не превышает  $0,01 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ . Расчеты концентрации  $\text{NO}_2$  модели Chim/COS имеют выраженную сезонную амплитуду, зимой модельные отклонения в основном лежат в интервале  $0,02\text{--}0,03 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ , в теплый сезон  $0,05\text{--}0,08 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ .

Расчетные концентрации  $\text{CO}$  модель Cos-ART систематически занижает, в оба сезона средние суточные концентрации в среднем на  $0,1\text{--}0,2 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ , максимальные суточные концентрации на  $0,4\text{--}0,6 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ . С другой стороны, модель Chim/COS завышает концентрации  $\text{CO}$ , причем в теплый сезон больше, чем в холодный: отклонения модельных уровней от наблюдаемых составляют  $0,2 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ , летом  $0,5 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ .

Ранее выполненный анализ качества модельных расчетов, полученных после проведенных технологических изменений расчетов XTM Chim/COS и обновления блока эмиссий в Cos-ART, позволил зафиксировать, что некоторые преобразования в вычислительных комплексах существенно не отразились на средних показателях успешности модельных прогнозов в сравнении с предшествующими годами [4, 5]. Одновременно выявлено, что величины модельных ошибок расчетов концентрации  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$  после перехода от расчетов Chim/WRF (XTM CHIMERE с усвоением метеорологических данных WRF) [9] к расчетам Chim/COS несколько увеличились. Одна из причин этого могла быть связана с пониженным уровнем загрязнения в период оценок как следствие влияния особенностей крупномасштабных атмосферных процессов. Результаты сравнений модель-

ных расчетов и данных измерений определили постановку некоторых дополнительных численных экспериментов. Их краткие описания приводятся ниже.

## Сравнение наблюдаемого и модельного суточного хода концентраций загрязняющих веществ

Внутрисуточная динамика загрязняющих веществ в Московском регионе, как показывают расчеты по многолетним рядам наблюдений [3], имеет сезонные отличия. В холодный период в типовом суточном ходе  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{PM}_{10}$  наблюдается слабовыраженный максимум, растянутый на дневное время. В теплый сезон суточная амплитуда концентраций  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{PM}_{10}$  значительно увеличивается. Чаще всего формируются утренний и вечерний максимумы, суточный минимум в отличие от зимнего (ночного) приходится в основном на послеполуденные часы.

Анализ модельных расчетов показал, что воспроизводимый Chim/COS суточный ход концентраций качественно аналогичен наблюдаемому, но в некоторых деталях от него отличается, в частности, смещением на более поздние часы утреннего максимума и замедленным уменьшением концентраций в послеполуденные часы, когда интенсивное перемешивание должно способствовать быстрому понижению уровня загрязнения, что и наблюдается по результатам измерений. На рис. 1 показан усредненный по данным 25 городских станций мониторинга в Москве и рассчитанный по XTM суточный ход концентраций  $\text{CO}$  15–17 июля 2015 г. Видно, что в суточном ходе модельных концентраций  $\text{CO}$  утренний максимум сильно растянут и приходится на 10–11 часов, а по данным измерений максимум  $\text{CO}$  наблюдался в 6 ч утра, после чего уровень загрязнения резко понижался – к 9 ч концентрации уменьшились в 3 раза.

Продемонстрированные на коротком временном интервале особенности модельного суточного хода концентраций загрязняющих веществ обнаруживались и в других эпизодах, что дает основание предполагать, что одной из причин неточности формы суточного хода в модели Chim/COS могут быть погрешности расчетов высоты атмосферного пограничного слоя (ВПС), которая влияет на расчет приземных концентраций загрязняющих веществ.

Были проведены численные эксперименты с целью сравнения рассчитанных в моделях WRF, COSMO-RU7 и Chim/COS временного хода и суточной амплитуды высоты пограничного слоя. Для анализа использованы расчеты в летний период (21–26 июня) с меняющимся характером погоды: в первые дни (22–24 июня) наблюдалась жаркая сухая погода, она сменилась ветреной с дождями погодой (25–26 июня). В Chim/COS высота пограничного слоя рассчитывалась по метеорологическим данным COSMO-RU7 непосредственно в самой модели CHIMERE на основе широко используемых параметризаций [15, 16]; в используемой

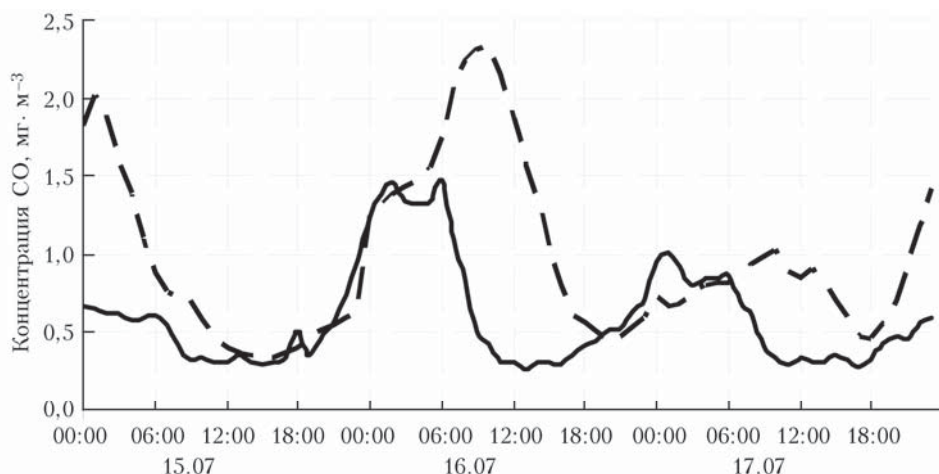


Рис. 1. Временной ход концентрации CO: наблюдения (сплошная кривая) и расчет по XTM Chim/COS (пунктир). 15–17 июля 2015 г.

конфигурации слой от поверхности земли до 2 км охватывался всего пятью уровнями модели. В модели COSMO-RU7 для расчетов ВПС применялась похожая схема [17–21], но используется большее количество вертикальных уровней, что позволяет детальнее описывать процессы в пограничном слое. В конфигурации Chim/WRF высота пограничного слоя являлась выходным параметром модели WRF.

На рис. 2 представлен рассчитанный тремя моделями WRF, COSMO-RU7 и Chim/COS временной ход высоты пограничного слоя. Видно, что в дни с непогодой 21 и 26 июня – с осадками и скоростью ветра более 7 м/с – различия модельных расчетов величины максимальной ВПС невелики. В дни с жаркой маловетреной погодой (22–24 июня) различия модельных расчетов максимальной ВПС наибольшие (Chim/COS: 600–1200 м, WRF – около 1500–2000 м). Заметим, что согласно [14] по средним многолетним расчетам максимальная ВПС в Москве в июне составляет 2100 м. Расчеты ВПС моделью COSMO-RU7 по объективным причинам проведены

лишь для одного дня (пунктирная линия на рис. 2), в часы максимального развития ВПС составила 1500 м и была ближе к расчетам ВПС модели WRF.

Различные методики параметризации приземного слоя в отдельных моделях атмосферы различаются подходом к расчету коэффициентов обмена на поверхности для количества движения и тепла [22] и вносят заметные изменения в расчетные характеристики, в том числе и расчеты высоты пограничного слоя, различия ВПС могут достигать 500–700 м [19]. В работе [15] показано, что при одной параметризации пограничного слоя, но с использованием для расчетов ВПС различного числа горизонтальных уровней высота может различаться на 300–700 м. Учитывая вышесказанное, можно констатировать, что полученные нами результаты согласуются с результатами других исследователей, а по итогам экспериментальных расчетов принято решение об использовании расчетов высоты пограничного слоя модели COSMO-RU7 в оперативной практике.

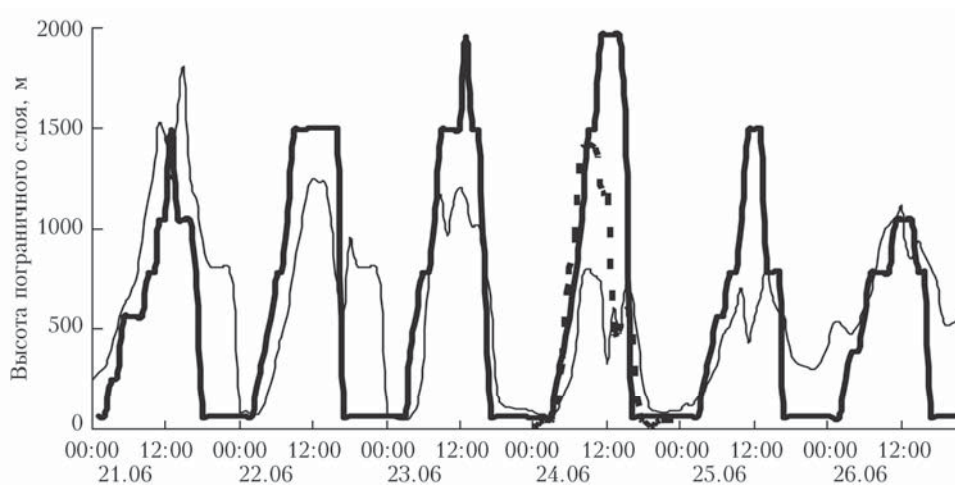


Рис. 2. Высота пограничного слоя, рассчитанная по моделям WRF (толстая сплошная кривая), COSMO-RU7 (пунктир), Chim/COS (тонкая сплошная кривая). 21–26 июня 2015 г.

## Оценка влияния определения ВПС на расчеты концентраций загрязняющих веществ

Различия модельных расчетов высоты пограничного слоя обнаруживаются и косвенными способами — по результатам сравнений модельных расчетов концентраций загрязняющих веществ одной химической транспортной моделью. Это убедительно показано в работе [23], где сравниваются расчеты концентраций аэрозоля XTM CHIMERE с использованием расчетов ВПС в моделях MM5 и WRF.

Проведенный нами ряд численных экспериментов был нацелен на установление количественных различий концентраций загрязняющих веществ при использовании двух способов расчетов ВПС (COSMO-RU7 и Chim/COS). На рис. 3, а приведен временной ход расчетной высоты пограничного

слоя двух моделей в одном из экспериментов (16–22 октября 2015 г.) с широким диапазоном погодных условий, внутри которого наблюдался эпизод со значительным ослаблением ветра и образованием температурных инверсий.

В экспериментах важно выявить не только общие отличия, но и временные интервалы, на которые приходится существенные различия расчетов двумя моделями. Выявлено, что в дневные часы (10–17 ч) по расчетам модели COSMO-RU7 высота пограничного слоя больше рассчитанной в Chim/COS; а в вечерние часы ВПС в модели COSMO-RU7 меньше, чем в Chim/COS (за исключением последнего дня рассматриваемого периода). Как различия расчетов ВПС отразились на расчетах концентраций CO в XTM Chim/COS, демонстрирует рис. 3, б, где показан временной ход измеренных концентраций CO (по наблюдениям на 5 АСКЗА) и модельных концентраций с расчетами ВПС в COSMO-RU7 и Chim/COS.

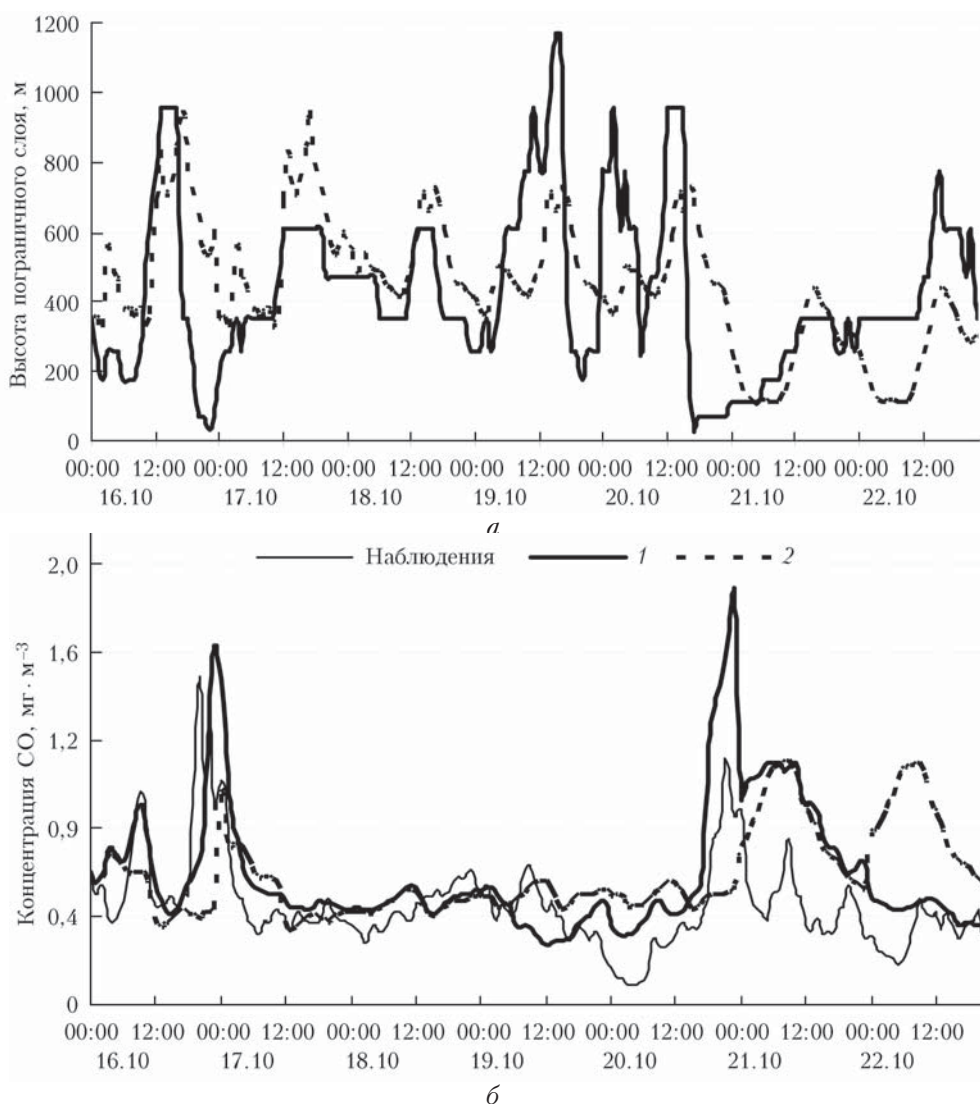


Рис. 3. Временной ход высоты пограничного слоя по расчетам в моделях COSMO-RU7 (сплошная кривая) и Chim/COS (пунктир) (а), средней концентрации CO ( $\text{мг} \cdot \text{м}^{-3}$ ) на АСКЗА и рассчитанной с применением ВПС двух моделей (1 – COSMO-RU7, 2 – Chim/COS) (б). 16–22 октября 2015 г.

В условиях интенсивного атмосферного рассеивания (17–20 октября) различия рассчитанной двумя способами высоты пограничного слоя незначительны и составили 100–400 м, отклонения величин модельных от измеренных концентраций CO малы (не более  $0,1 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ ). Наибольшие модельные ошибки расчетов концентрации CO (до  $1,3 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ ), как и следовало ожидать, совпали с максимальными различиями рассчитанной двумя способами высоты пограничного слоя (до 700 м) и наблюдались ночью (21 октября). То есть различия в расчете ВПС около 700 м могут привести к разности величины модельных концентраций CO до  $1,3 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ .

Средние показатели качества модельных расчетов концентраций CO по ХТМ CHIMERE с применением двух способов расчетов ВПС приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Показатели модельных расчетов часовых концентраций CO ( $\text{мг} \cdot \text{м}^{-3}$ ) с применением расчетов ВПС в Chim/COS и в COSMO-RU7**

Расчет ВПС	Наблюдение	Модель	Ошибка		СКО
			Средняя	Абсолютная	
COSMO-RU7	0,45	0,59	0,14	<b>0,19</b>	<b>0,23</b>
Chim/COS	0,45	0,58	0,13	0,24	0,29

Видно, что расчеты CO с ВПС по COSMO-RU7 имеют меньшие отклонения от наблюдений, чем при использовании ВПС по расчетам Chim/COS.

### Заключение

В Гидрометцентре России проводятся регулярные расчеты концентраций загрязняющих веществ в приземном воздухе двумя химическими транспортными моделями CHIMERE и COSMO-RU7-ART; обе ХТМ используют прогностические поля метеорологических величин по данным системы COSMO-RU7. Также регулярно проводится мониторинг качества модельных расчетов путем сравнения численных расчетов с данными измеренных концентраций загрязняющих примесей; результаты сравнений служат основой для разработки методов постобработки модельных расчетов и являются мотивировкой для развития и усовершенствования технологии оперативного прогнозирования. По результатам последнего года установлено, что расчеты CHIMERE и COSMO-RU7-ART по-прежнему содержат некоторые систематические погрешности, имеется тенденция увеличения величин модельных ошибок от холодного к теплому сезону.

Сравнение суточного хода концентраций CO, рассчитанного моделью CHIMERE/COSMO-RU7, с данными наблюдений указывает на существенные различия между ними в дневное время. Одной из причин установленных систематических и случайных смещений модельных расчетов CO и других загрязнений являются неточности расчетов высоты пограничного слоя. По результатам проведенных

численных экспериментов установлено, что различия расчетов высоты пограничного слоя различными способами в теплый сезон могут достигать 700–800 м. Такие значительные отличия в расчетах модельного параметра (ВПС) объясняют и существенные расхождения расчетов концентраций загрязняющих веществ.

Для получения устойчивых показателей качества модельных расчетов в текущих конфигурациях ХТМ необходимо продолжить сравнительный анализ концентраций «модель–измерение» с применением оптимальных параметризаций процессов в атмосферном пограничном слое.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект 14-05-00481\_a).

1. Kukkonen J., Olsson T., Schultz D.M., Baklanov A., Klein T., Miranda A.I., Monteiro A., Hirtl M., Tarvainen V., Boy M., Peuch V.-H., Poupkou A., Kioutsioukis I., Finardi S., Sofiev M., Sokhi R., Lehtinen K.E.J., Karatzas K., R. San Jose, Astitha M., Kallos G., Schaap M., Reimer E., Jakobs H., Eben K. A review of operational, regional-scale, chemical weather forecasting models in Europe // *Atmos. Chem. Phys.* 2012. V. 12, iss. 1. P. 1–87.
2. Monks P.S., Archibald A.T., Colette A., Cooper O., Coyle M., Derwent R., Fowler D., Granier C., Law K.S., Mills G.E., Stevenson D.S., Tarasova O., Thouret V., von Schneidmesser E., Sommariva R., Wild O., Williams M.L. Tropospheric ozone and its precursors from the urban to the global scale from air quality to short-lived climate forcer // *Atmos. Chem. Phys.* 2015. V. 15, iss. 15. P. 8889–8973.
3. Вильфанд Р.М., Кузнецова И.Н., Шалыгина И.Ю., Звягинцев А.М., Нахаев М.И., Захарова П.В., Ланченко В.А. Мониторинг и прогнозирование качества воздуха в Московском регионе // *Биосфера.* 2014. Т. 6, № 4. С. 339–351.
4. 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 атмосф. и океана.* 2015. Т. 28, № 6. С. 569–578.
5. 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.
6. Кузнецова И.Н., Шалыгина И.Ю., Захарова П.В., Лезина Е.А., Коновалов И.Б. Опыт применения численных моделей с высоким пространственно-временным разрешением для прогноза процессов в атмосферном пограничном слое и загрязнения приземного воздуха // *Тезисы докладов VII Всероссийского метеорологического съезда.* 7–9 июля 2014 г. Санкт-Петербург. С. 62
7. Ревакатова А.П., Суркова Г.В., Курсанов А.А., Кислов А.В., Ривин Г.С. Прогноз загрязнения атмосферы Московского региона с помощью модели COSMO-ART // *Вестник МГУ. Сер. География.* 2012. № 4. С. 25–33.
8. Суркова Г.В., Блинов Д.В., Курсанов А.А., Ревакатова А.И., Ривин Г.С. Моделирование распространения шлейфов воздушных загрязнений от очагов лесных пожаров с использованием химико-транспортной

- модели COSMO-Ru7 ART // Оптика атмосфер. и океана. 2014. Т. 27, № 1. С. 75–81; *Surkova G.V., Blinov D.V., Kirsanov A.A., Revokatova A.P., Rivin G.S.* Simulation of spread of air pollution plumes from forest fires with the use of COSMO-Ru7-ART chemical-transport model // Atmos. Ocean. Opt. 2014. V. 27, N 3. P. 268–274.
9. *Заринов Р.Б., Коновалов И.Б., Глазкова А.А.* Расчет концентраций загрязняющих веществ с использованием модели атмосферы WRF-ARW и химико-транспортной модели CHIMERE // Метеорол. и гидрол. 2013. № 12. С. 52–67.
  10. *Вильфанд Р.М., Ривин Г.С., Розинкина И.А.* Система COSMO-RU негидростатического мезомасштабного краткосрочного прогноза погоды Гидрометцентра России: первый этап реализации и развития // Метеорол. и гидрол. 2010. № 8. С. 5–20.
  11. *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. № 347. С. 61–80.
  12. *Vogel H., Förstner J., Vogel B., Hanisch T., Mühr B., Schättler U., Schad T.* Quasi-operational modeling of the Eyjafjallajökull volcanic ash episode with COSMO-ART at DWD // EMS Annual Meeting Abstracts. 2011. V. 8. EMS2011-871.
  13. *Vogel B., Vogel H., Baumner D., Bangert M., Landgren K., Rinke R., Stanelle T.* The comprehensive model system COSMO-ART – Radiative impact of aerosol on the state of the atmosphere on the regional scale // Atmos. Chem. Phys. 2009. V. 9, iss. 22. P. 8661–8680.
  14. *Климатические характеристики условий распространения примесей в атмосфере /* Под ред. Э.Ю. Безуглой, М.Е. Берлянда. Справочное пособие. Л.: Гидрометеониздат, 1983. 328 с.
  15. *Ib Troen L. Mahrt* A simple model of the atmospheric boundary layer; sensitivity to surface evaporation // Boundary-Layer Meteorol. 1986. V. 37, iss. 1–2. P. 129–148.
  16. *Cheinet S., Teixeira J.* A simple formulation for the eddy-diffusivity parameterization of cloud-topped boundary layers // Geophys. Res. Lett. 2003. V. 30, N 18. P. 1930–1939. DOI: 10.1029/2003gl017377.
  17. *Stull R.B.* An Introduction to Boundary Layer Meteorology. Kluwer Academic Publishers. 1988. 670 p.
  18. *Sorensen J.H., Rasmussen A., Svensmark H.* Forecast of Atmospheric Boundary-Layer Height Utilised for ETEX Real-Time Dispersion Modelling // Phys. Chem. Earth. 1996. V. 21, N 5–6. P. 435–439.
  19. *Seibert P., Beyrich F., Gryning S-E., Joffred S., Rasmussen A., Tercier P.* Review and intercomparison of operational methods for the determination of the mixing height // Atmos. Environ. 2000. V. 34, iss. 7. P. 1001–1027.
  20. *Vogelezang D.H.P., Holtslag A.A.M.* Evaluation and model impacts of alternative boundary-layer height formulations // Boundary-Layer Meteorol. 1996. V. 81, iss. 3–4. P. 245–269.
  21. *Wetzel P.J.* Toward parametrization of the stable boundary layer // J. Appl. Meteorol. 1982. V. 21, N 1. P. 7–13.
  22. *Вельтищев Н.Ф., Жуванов В.Д.* Численные прогнозы погоды по негидростатическим моделям общего пользования WRF-ARW и WRF-NMM // Гидрометцентр России. М.: Триада ЛТД, 2010. С. 94–135.
  23. *Rasmussen A., Tercier P.A., De Meij A., Gzella A., Cuvelier C., Thunis P., Bessagnet B., Vinuesa J.F., Menut L., Kelder H.M.* The impact of MM5 and WRF meteorology over complex terrain on CHIMERE model calculations // Atmos. Chem. Phys. 2009. V. 9, N 17. P. 6611–6632.

*I.Yu. Shalygina, M.I. Nakhaev, I.N. Kuznetsova, E.V. Berezin, I.B. Kononov, D.V. Blinov, A.A. Kirsanov.* **Comparison of the ground concentration of the polluting substances calculated by means of xtm with data of measurements in the moscow region.**

Comparisons of model forecasts (XTM CHIMERE and COSMO-RU7-ART) air pollution with data of measurements in Moscow in 2015 are presented. Both HTM use predictive fields of meteorological sizes according to model of the atmosphere of COSMO-RU7. It is established that models underestimate average daily concentration of PM10 and predict with an error on the average of 0,01–0,02 mg of m<sup>-3</sup>. Concentration of dioxide of XTM COSMO-RU7-ART nitrogen is counted with a margin error on the average by 0,01–0,02 mg of m<sup>-3</sup>, CHIMERE – 0,02–0,03 mg of m<sup>-3</sup> (summer of 0,05–0,08 mg of m<sup>-3</sup>), systematically overestimating NO<sub>2</sub>. Most often COSMO-RU7-ART underestimates concentration of carbon monoxide (by 0,1–0,2 mg of m<sup>-3</sup>, a daily maximum on 0,4–0,6 mg of m<sup>-3</sup>); CHIMERE, on the contrary, systematically overestimates WITH (on 0,2–0,35 mg of m<sup>-3</sup>, it is frequent on 0,4–0,5 mg of m<sup>-3</sup> in the summer). Some results of experiments about influence of a way of definition of height of the planetary boundary layer (PBL) on model calculations of concentration of CO are discussed. PBL paid off: a) directly in XTM CHIMERE, b) in COSMO-RU7.