

Эффективность коррекции эмиссий для расчетов химической транспортной модели CHIMERE в Московском регионе

И.Ю. Шалыгина¹, И.Н. Кузнецова¹, М.И. Нахаев¹,
Д.В. Борисов¹, Е.А. Лезина^{2*}

¹Гидрометцентр России
123242, г. Москва, Большой Предтеченский пер., 11–13
²Мосэкомониторинг
119019, г. Москва, ул. Новый Арбат, 11, стр. 1

Поступила в редакцию 19.01.2020 г.

Региональная коррекция данных эмиссий кадастра ЕМЕР (European Monitoring and Evaluation Programme) является одним из способов повышения точности модельных расчетов концентраций загрязняющих веществ на основе химических транспортных моделей (ХТМ). В настоящей работе предложены и описаны способы коррекции оригинальных эмиссий ЕМЕР. На примере расчетов ХТМ CHIMERE для Московского региона показана эффективность процедуры коррекции эмиссий, подтвержденная уменьшением погрешностей модельных расчетов концентрации РМ₁₀. Выполненные региональные разработки коррекции эмиссий могут быть использованы для других регионов России.

Ключевые слова: эмиссии, ЕМЕР, химическая транспортная модель, CHIMERE, численный прогноз загрязнения воздуха; emissions, EMEP, chemical transport model, CHIMERE, numerical forecast of air pollution.

Введение

Успешность прогноза качества воздуха с использованием химических транспортных моделей (ХТМ) зависит от точности прогноза метеорологических параметров и адекватности задания данных о выбросах загрязняющих веществ в атмосферу. Одним из подходов минимизации модельных погрешностей является использование входных метеорологических данных передовых численных моделей атмосферы. Установленная нами тенденция уменьшения погрешностей модельных расчетов концентраций загрязняющих веществ ХТМ CHIMERE в Москве [1–9] напрямую связана с внедрением в оперативную практику Гидрометцентра России системы гидродинамического моделирования атмосферных процессов Cosmo [10]. Развитие этой системы [11] стимулировало усовершенствование технологии численных расчетов загрязнения и переход на расчеты ХТМ с горизонтальным шагом сетки до 2,2 км. Такие расчеты необходимо было обеспечить данными эмиссий соответствующего разрешения, согласованными

с данными типизации землепользования используемых баз данных GLCF (Global Land Cover Facility), GlobCover (GlobCover Land Cover). Для повышения надежности данных оригинальных эмиссий ЕМЕР была предложена их количественная и пространственная коррекция с учетом официальной статистики. Аналогичные подходы к региональной коррекции эмиссий применяют зарубежные исследователи [12–15]. Актуальность уточнения эмиссий глобальных кадастров подтверждается рядом научных отечественных и зарубежных публикаций [12–21], в число которых входят работы, посвященные решению обратной задачи – установлению объемов выбросов по измеренным концентрациям загрязняющих веществ [16–19], а также исследованиям возможности применения спутниковой информации для расчета эмиссий [20].

Первые оценки целесообразности и эффективности примененной нами коррекции эмиссий СО и NO_x на примере Московского региона описаны в [8, 9]. Представленные в настоящей статье материалы продолжают исследовательские работы по региональной адаптации эмиссий ЕМЕР как способу уменьшения модельных погрешностей расчета концентраций загрязняющих веществ с использованием ХТМ CHIMERE. Приведено сравнение оригинальных эмиссий с данными официальной статистики, обсуждаются сезонная и внутрисуточная изменчивости

* Ирина Юрьевна Шалыгина (shalygina@mecom.ru); Ирина Николаевна Кузнецова (labmuza@mail.ru); Мурат Ислемгалеевич Нахаев (muratmeteo@mail.ru); Данил Владимирович Борисов (lby23.98@mail.ru); Елена Александровна Лезина (LezinaEA@eco.mos.ru).

эмиссий (CO и NO_x) основных отраслевых источников — транспорта, промышленного производства, энергетики; значительное внимание уделено вопросам коррекции эмиссий PM₁₀.

Базы данных эмиссий

Для решения задач в области переноса и загрязнения воздуха в глобальном и региональном масштабах чаще других используются базы данных (БД) эмиссий EDGAR, ЕМЕР и TNO, содержащие количественные данные о выбросах загрязняющих веществ на регулярной сетке.

EDGAR (The Emissions Database for Global Atmospheric Research) — совместный проект Объединенного исследовательского центра Европейской комиссии и Нидерландского агентства по оценке окружающей среды. EDGAR содержит данные об антропогенных выбросах загрязняющих атмосферный воздух веществ по странам на территории всего земного шара на основе статистических данных Международного энергетического агентства, Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН с учетом национальных стандартов использования технологий и контроля выбросов [22].

ЕМЕР (European Monitoring and Evaluation Programme) — совместная программа мониторинга и оценки распространения загрязняющих веществ в воздухе на большие расстояния в Европе на основе Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха. В рамках программы в 2007 г. создан Центр по кадастрам и прогнозам выбросов CEIP (The Centre on Emission Inventories and Projections). В соответствии со статьей 10 CLRTAP [23] РФ как страна-участница обязана предоставлять в CEIP

данные о выбросах в атмосферу на своей территории. БД ЕМЕР ежегодно обновляется с задержкой на 2 года. До 2019 г. данные ЕМЕР были доступны на сетке 0,5 × 0,5°, сегодня открыт доступ к данным на сетке 0,1 × 0,1°.

В ЕМЕР содержатся величины годовых объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферу (Мг/ячейка/год). Данные разделены по источникам поступления загрязнений в атмосферу; номенклатура последних принята в рамках проекта CORINAIR (<https://www.eea.europa.eu/ru/publications/rukovodstvo-emeper-inventarizacii>) и состоит из 11 типов источников SNAP (Selected Nomenclature for sources of Air Pollution). Эмиссии задаются как для низких, так и для высоких источников на шести различных уровнях [8].

Наиболее важные характеристики БД ЕМЕР и EDGAR представлены в табл. 1. Основным преимуществом EDGAR с точки зрения перспективы численного моделирования качества воздуха для РФ является охватываемая территория. В отличие от нее, ЕМЕР покрывает лишь часть нашей страны: европейскую территорию России, Урал, Западную и часть Восточной Сибири.

БД TNO (The Netherlands Organisation for Applied Scientific Research) широко используется специалистами по моделированию в Европе. Данные эмиссий на ее территории рассчитываются на основании официальных отчетов об инвентаризации стран ЕС; данные представлены с разрешением 7 × 7 км. Кадастр TNO содержит информацию о выбросах NO_x, SO₂, NMVOC, NH₃, CO, взвешенных частиц (PM_{2,5} и PM₁₀) и парниковых газов (CO₂, CH₄) [24]. Его данные доступны Гидрометцентру России как участнику консорциума Cosmo без возможности их коррекции.

Таблица 1

Характеристики БД ЕМЕР и EDGAR

База данных	ЕМЕР	EDGAR
Разрешение сетки	0,5 × 0,5°; 0,1 × 0,1°	0,1 × 0,1°
Вещества	<p><i>Основные загрязняющие вещества:</i> CO, NH₃, NMVOC, NO_x, SO_x;</p> <p><i>Аэрозоли:</i> BC, PM₁₀, PM_{2,5}, PM_{coarse};</p> <p><i>Тяжелые металлы:</i> Cd, Hg, Pb;</p> <p><i>Стойкие органические загрязнители:</i> benzo(a), benzo(b), benzo(k) DIOX, HCB, ndeno, PAH, PCB</p>	<p><i>Прямые парниковые газы:</i> CO₂, CH₄, N₂O; HFC-23, 32, 125, 134a, 143a, 152a, 227ea, 236fa, 245fa, 365mfc, 43-10-mee; CF₄, C₂F₆, C₃F₈, c-C₄F₈, C₄F₁₀, C₅F₁₂, C₆F₁₄, C₇F₁₆, SF₆, NF₃, SO₂F₂;</p> <p><i>Газы-предшественники озона:</i> CO, NO_x, NMVOC, CH₄;</p> <p><i>Подкисляющие газы:</i> NH₃, NO_x, SO₂;</p> <p><i>Аэрозоли:</i> PM₁₀, PM_{2,5}, BC, OC;</p> <p><i>Тяжелые металлы:</i> Hg;</p> <p><i>Озоноразрушающие вещества:</i> CFC-11, 12, 113, 114, 115; Halons (1211, 1301, 2402); HCFC-22, 124, 141b, 142b; CCl₄, CH₃Br, CH₂Cl₂</p>
Охватываемые территории	Область между 30–82° с.ш. и 30–90° з.д.	Весь мир
Временной шаг	Год	Год

Описание системы моделирования и используемых в численных экспериментах данных

В качестве инструмента для исследований эффективности коррекции эмиссий в работе использована XTM CHIMERE версии 2013b [25] с шагом сетки по горизонтали $0,25 \times 0,125^\circ$, настроенная в расчетах для Московского региона на усвоение данных ЕМЕР [3, 4]. Для расчетов CHIMERE используются выходные метеорологические данные модели COSMO-Ru7 с горизонтальным разрешением $\sim 0,0625^\circ$.

Тропосферная фотохимия в XTM CHIMERE основана на упрощенном механизме MELCHIOR2, который включает около 120 реакций и 44 газовые примеси. В аэрозольном модуле рассчитываются органические и неорганические примеси первичного и вторичного происхождения. Граничные условия для модельного домена задаются для газов из средних за месяц климатических данных базы MOZART, для нитратов и аммиака — из LMDz-INCA, для аэрозолей — из GOCART. По умолчанию в XTM CHIMERE эмиссии NO_x распределены следующим образом: 9,2% приходится на NO_2 , 0,8% — на HONO и 90% — на NO [25].

При счете CHIMERE применяется метод вложенных сеток: внутри обширной внешней области (с климатическими условиями на боковых границах) выделяется область, где проводится счет с более высоким разрешением. На внутренней области в качестве граничных условий используются концентрации, рассчитанные CHIMERE на грубой внешней сетке. В текущей конфигурации CHIMERE внешняя сетка имеет разрешение $1 \times 1^\circ$, внутренняя — $0,1^\circ$ широты $\times 0,2^\circ$ долготы, размер — примерно 11 км. Расчет концентраций проводится на 12 неравномерно распределенных вертикальных уровнях до высоты 200 гПа; на верхней границе задаются климатические концентрации.

Рабочий цикл CHIMERE начинается с интерполяции метеорологических характеристик численного прогноза COSMO-Ru7 на сетку XTM с преобразованием их в требуемый формат; затем рассчитываются биогенные и антропогенные эмиссии, после этого вычисляются концентрации загрязняющих веществ.

В экспериментальных расчетах использованы эмиссии, представленные в полярной стереографической сетке 50×50 км. Пересчет эмиссий на модельную сетку производится с помощью встроенной в XTM CHIMERE процедуры с учетом плотности населения и типа землепользования из БД GLCF или GlobCover [8].

Для исследований и обоснованной коррекции эмиссий использованы данные эмиссий ЕМЕР (2008, 2013, 2015 гг.) и статистические характеристики выбросов в атмосферу, приведенные в Государственном докладе «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2008–2018 гг.» (http://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_do

klady/), докладах «О состоянии окружающей среды в г. Москве» (<http://www.dpioos.ru/eco/ru/>) и Федеральной службы в сфере природопользования, Росприроднадзор (<http://77.rpn.gov.ru/opendata/7703381225-twotp-vozduh>), а также представленные в статистических отчетах Центра организации дорожного движения в г. Москве (ЦОДД — <http://gucodd.ru/>) и компании Яндекс.

Для тестирования экспериментальных модельных расчетов с шагом по времени 1 ч взяты осредненные за час данные измерений концентрации загрязняющих веществ на автоматизированных станциях контроля загрязнения атмосферы (АСКЗА) ГПБУ «Мосэкомониторинг» (<http://mosecom.ru>). Модельные расчеты сравнивались с измерениями концентрации CO на 38 АСКЗА, NO — на 33, NO_2 — на 36, PM_{10} — на 14 станциях городского и приагистрального типа. Для анализа также использовалась характеристика средней суточной концентрации, осредненной по 24 модельным значениям концентраций, из которых выбирался и суточный максимум. Сравнение модельных расчетов с данными измерений на АСКЗА проводилось методом «ближайшего соседа» — по значениям в ближайшем к АСКЗА узле модельной сетки.

Результаты и обсуждение

Адаптация эмиссий PM_{10} . В [8] показано, что в кадастре ЕМЕР 2013 г. (ниже ЕМЕР2013) в сравнении с кадастром 2008 г. на территории Московского региона объемы выбросов CO сократились на 40%, NO_x — на 37%. Выполнены экспериментальные расчеты XTM CHIMERE с соответствующими процентными изменениями эмиссий в июле — сентябре 2017 и 2018 гг. Отметим, что расчеты и сравнения с измерениями в 2017 г. выполнены на основе данных ЕМЕР2008, в 2018 г. — с усвоением данных ЕМЕР2013. Осредненные по всем АСКЗА характеристики модельной и измеренной средних суточных концентраций CO , NO , NO_2 , PM_{10} и максимальной за сутки концентрации приведены в табл. 2. Там же даны осредненные за три месяца каждого года (2017, 2018 гг.) величины средней (систематической) и абсолютной модельных ошибок и среднеквадратическое отклонение (СКО). Результаты ~ 180 экспериментальных расчетов и сравнений с измерениями показали уменьшение ошибок расчета концентраций CO и NO_x . Но одновременно с этим значительно увеличилось ошибки расчета PM_{10} . Ухудшение качества модельных расчетов PM_{10} при замене данных эмиссий на ЕМЕР2013 стимулировало изучение причин такого эффекта.

Следует отметить, что в БД ЕМЕР содержатся данные эмиссий двух фракций: $\text{PM}_{2,5}$ и $\text{PM}_{\text{coarse}}$ (coarse — крупнодисперсный). PM_{10} рассчитывается как сумма $\text{PM}_{2,5}$ и $\text{PM}_{\text{coarse}}$. По результатам анализа данных в шести ячейках ЕМЕР, охватывающих Москву и ближайшие пригороды, установлено, что по сравнению с ЕМЕР2008 в ЕМЕР2013 объем выбросов $\text{PM}_{2,5}$ увеличился на 43%, $\text{PM}_{\text{coarse}}$ — на 24%.

Измеренные и модельные концентрации CO, NO, NO₂, PM₁₀ и статистические характеристики ошибок расчетов в ХТМ CHIMERE (мг · м⁻³)

Год	Результат измерения	Модельный расчет	Средняя ошибка	Абсолютная ошибка	СКО	Результат измерения	Модельный расчет	Средняя ошибка	Абсолютная ошибка	СО
	Средняя суточная					Максимальная суточная				
CO										
2017	0,36	0,75	0,39	0,44	0,44	0,81	1,24	0,44	0,69	0,72
2018	0,39	0,45	0,07	0,19	0,18	0,87	0,70	-0,17	0,42	0,48
NO										
2017	0,01	0,05	0,04	0,04	0,28	0,05	0,11	0,05	0,06	0,10
2018	0,02	0,02	0,00	0,01	0,02	0,06	0,04	-0,02	0,04	0,06
NO ₂										
2017	0,03	0,08	0,05	0,05	0,04	0,05	0,12	0,06	0,07	0,06
2018	0,03	0,06	0,02	0,03	0,02	0,06	0,09	0,03	0,04	0,03
PM ₁₀										
2017	0,02	0,02	0,00	0,01	0,02	0,05	0,03	-0,02	0,03	0,03
2018	0,02	0,05	0,03	0,04	0,03	0,05	0,09	0,05	0,06	0,06

К тому же увеличение более чем на 30% выбросов PM₁₀ в ЕМЕР2013 сопровождалось перераспределением вклада отдельных источников. Больше других (почти на 20%) увеличились выбросы от источника «производственные процессы» (SNAP4), что и определило его максимальный вклад в суммарный объем выбросов PM₁₀. Напротив, в ЕМЕР2013 по сравнению с ЕМЕР2008 выбросы PM_{2,5} уменьшены на 10–17%, PM_{coarse} – на 5–10% от других промышленных источников, таких как сжигание в энергетической и в обрабатывающей промышленности.

Очевидно, обнаруженные изменения объемов и структуры эмиссий основных загрязняющих веществ в ЕМЕР2013 следует соотносить с национальными статистическими данными. Такие содержатся в Государственных докладах «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации» и докладах «О состоянии окружающей среды в г. Москве». На основании имеющейся официальной статистики можно сделать вывод, что существенного увеличения объемов выбросов от стационарных источников в период с 2008 по 2018 г. на территории Москвы и Московской обл. не происходило.

Этот вывод принят во внимание при разработке алгоритма региональной коррекции эмиссий мелкодисперсных частиц в расчетной области Московского региона. При коррекции учтено также, что: а) в ЕМЕР2013 основные изменения выбросов PM сделаны в SNAP4; б) ошибки ранее проведенных модельных расчетов PM с усвоением эмиссий ЕМЕР2008 в основном не превышали величин про-

странственной изменчивости PM на территории мегаполиса. Поэтому коррекция оригинальных эмиссий ЕМЕР2013 проведена только по источнику SNAP4, пропорционально распределению PM в ЕМЕР2008.

Для оценки эффективности коррекции выполнены экспериментальные расчеты на основе оригинальных (ЕМЕР2013) и скорректированных эмиссий (ЕМЕР2013кор). Результаты сравнений с наблюдаемыми на двух АСКЗА «Мосэкомониторинг» средними суточными концентрациями PM₁₀ в июле – августе 2019 г. приведены в табл. 3.

Экспериментальные расчеты с обновленным кадастром эмиссий показали, что расчетные концентрации на скорректированной базе эмиссий уменьшились по сравнению с расчетами на основе ЕМЕР2013, но остались больше измеряемых величин. На следующем шаге коррекции проведено пространственное выравнивание эмиссий исходя из факта, что для эмиссий PM в БД ЕМЕР2013 наблюдается слабо обоснованный максимум в юго-западном секторе Москвы [8].

Пространственная коррекция эмиссий проведена путем перераспределения их величин в шести ячейках ЕМЕР, описывающих территорию Москвы и ближайших пригородов. Были скорректированы эмиссии источника с максимальным вкладом (23%) в общий объем выбросов PM – автотранспорта (SNAP7) исходя из предположений и данных интернет-ресурса Яндекс и ЦОДД о достаточно равномерном распределении транспортных эмиссий на территории мегаполиса.

Статистические характеристики средних суточных концентраций PM₁₀ (мг · м⁻³), рассчитанных в ХТМ CHIMERE и измеренных на АСКЗА «Мосэкомониторинг» в июле – августе 2019 г.

Версия ЕМЕР	Результат измерения	Модельный расчет	Средняя ошибка	Абсолютная ошибка	СКО	Результат измерения	Модельный расчет	Средняя ошибка	Абсолютная ошибка	СКО
	Сухаревка					Шаболовка				
ЕМЕР2013	0,03	0,05	0,02	0,03	0,03	0,02	0,09	0,07	0,07	0,06
ЕМЕР2013кор		0,04	0,01	0,02	0,03		0,06	0,04	0,04	0,04

Эффективность процедуры пространственного выравнивания PM_{10} протестирована на расчетах ХТМ CHIMERE. Сравнение модельных расчетов с усвоением скорректированных эмиссий SNAP7 с данными измерений на АСКЗА показало эффективность процедуры пространственной коррекции PM_{10} , как и применение ее для оригинальных эмиссий CO и NO_x .

На рис. 1, а, б показан пример модельного поля концентрации PM_{10} в Московском регионе в 07:00 7 июня 2019 г. до и после коррекции эмиссий по расчетам ХТМ CHIMERE с шагом 2,2 км. Видно, что коррекция обеспечивает ослабление первичного максимума в юго-западном секторе Москвы и сглаживание поля PM_{10} , что следует признать частным случаем свидетельства успешности примененной процедуры коррекции оригинальных эмиссий.

Репрезентативные оценки эффективности количественной и пространственной коррекции позволили получить экспериментальные расчеты для февраля – октября 2019 г. Убедительным положительным

результатом коррекции служит приближение расчетных концентраций к измеренным на АСКЗА. На рис. 1, в, г приведены средние за каждый месяц измеренные и рассчитанные концентрации PM_{10} . Видно, что процедура коррекции эмиссий способствовала уменьшению различий между модельными и измеренными концентрациями, при этом наибольший эффект коррекции проявился в расчетах для северного сектора города.

Сезонный ход. К задачам, решаемым в наших исследованиях, относится установление причин выявленного на репрезентативных рядах сезонного хода ошибок модельных расчетов концентраций [5]. В ХТМ CHIMERE встроенной процедурой производится распределение годового объема выбросов по месяцам с использованием заданных разработчиками коэффициентов пересчета для каждого вещества и источника выбросов. Анализ временного распределения и весового вклада коэффициентов показал, что имеющиеся экстремумы в матрице коэффициентов распределения не всегда совпадают

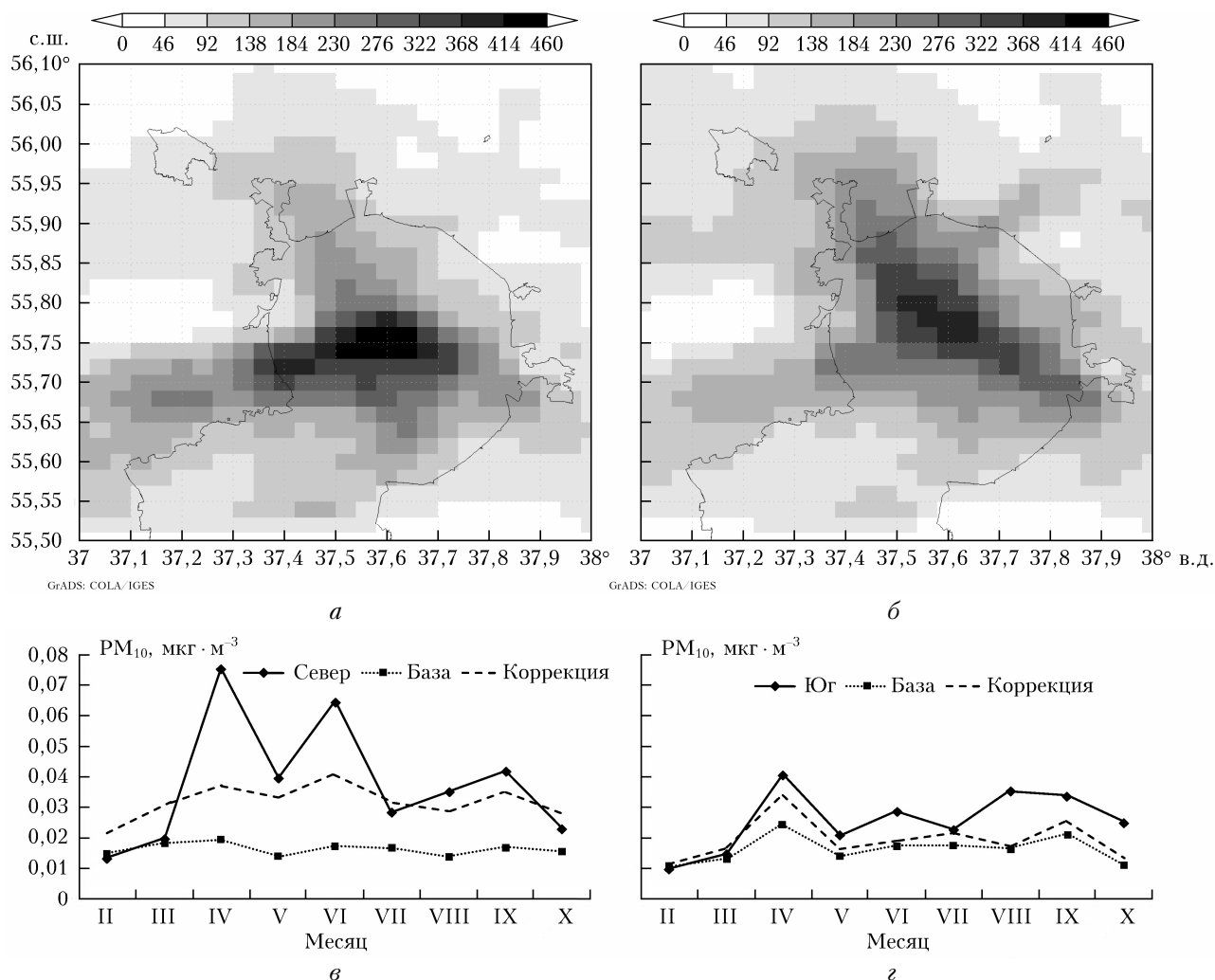


Рис. 1. Расчетное поле концентраций PM_{10} 7 июня 2019 г. (7:00): а – до коррекции эмиссий, б – после; средние месячные измеренные и рассчитанные концентрации PM_{10} до и после коррекции: в – северный сектор, г – южный сектор; февраль – октябрь 2019 г.; база – расчет на основе базового кадастра; коррекция – на основе скорректированного

с сезонными максимумами наблюдаемого в городе уровня загрязнения, есть различия и в минимумах. Согласование этих показателей рассматривается нами как один из способов минимизации погрешностей модельных расчетов XTM CHIMERE. В [8, 9] показана эффективность коррекции сезонного хода эмиссий CO, NO_x и NMVOC от выбросов автотранспорта (SNAP7). Для оценки эффективности коррекции сезонного хода еще одного источника SNAP1 (сжигание в энергетической промышленности) проанализированы данные инвентаризации выбросов ТЭЦ в Москве, включающие суммарные месячные выбросы четырех загрязняющих веществ (CO, NO, NO₂, SO₂). Оказалось, что сезонный ход объемов выбросов NO_x от ТЭЦ достаточно хорошо согласуется с ходом модельных коэффициентов распределения для SNAP1. В отличие от NO_x, в годовом ходе выбросов CO предприятиями ТЭЦ в Москве не наблюдается сглаженного сезонного хода, но с октября по март выражен максимум, который в целом совпадает с формой годового хода модельных коэффициентов распределения эмиссий. И выраженный минимум коэффициентов пересчета выбросов в теплый сезон совпадает со снижением выбросов CO на предприятиях ТЭЦ в этот период года. По результатам сравнительного анализа сделан вывод о нецелесообразности коррекции оригинального сезонного хода от источника SNAP1.

Суточный ход. Кроме сезонного хода изучено соответствие модельного внутрисуточного распределения эмиссий с данными официальной статистики. Были исследованы выбросы автотранспорта – доминирующего источника загрязнения воздуха в Москве. Суточный цикл эмиссий, как и сезонный ход, рассчитывается в XTM CHIMERE процедурой перераспределения годовых эмиссий. Для автотранспорта предусмотрено три типа суточного хода – для рабочих дней, субботы и воскресенья. Сравнение его со статистическими данными загруженности дорог компании Яндекс за 5 лет позволило установить, что в рабочие дни суточный ход эмиссий CO и NO_x хорошо согласуется с транспортной нагрузкой (рис. 2).

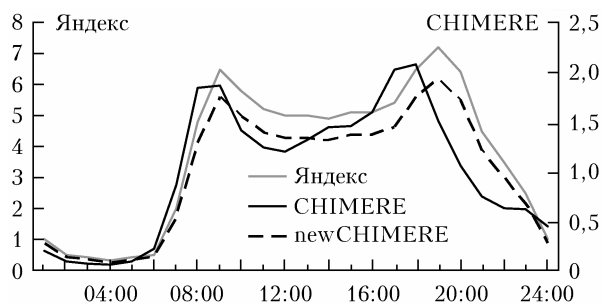


Рис. 2. Суточный ход коэффициентов распределения годовых эмиссий CO и NO_x в XTM CHIMERE и показателя загруженности дорог в Москве (безразмерные коэффициенты) по данным Яндекс

На рис. 2 также показан скорректированный для рабочих дней суточный ход коэффициентов распределения (рис. 2, newCHIMERE). Сравнение

модельных расчетов с данными наблюдений позволило установить смещение модельных суточных экстремумов концентраций относительно наблюдаемых [5]. Для устранения этого несоответствия на основе анализа Яндекс предложено уточнение коэффициентов суточного хода в рабочие дни эмиссий CO и NO_x в XTM CHIMERE.

Заключение

Региональная коррекция данных эмиссий кадастра ЕМЕР – это один из способов повышения точности модельных расчетов концентраций загрязняющих веществ на основе XTM. Предложенные способы уточнения эмиссий кадастра ЕМЕР в Московском регионе реализованы путем коррекции величин и пространственного распределения годовых объемов выбросов загрязняющих веществ, выполненных с использованием имеющихся в открытом доступе данных официальной статистики. Их эффективность, как и коррекция сезонного распределения в XTM CHIMERE, подтверждена результатами тестирования с обновленными данными, показавшими приближение модельных расчетов концентраций загрязняющих веществ к измеряемым величинам на сети автоматизированного контроля загрязнения в г. Москве.

Способы количественной и пространственной коррекции оригинальных эмиссий ЕМЕР, протестированные на Московском регионе, могут быть применены для других территорий России.

Работа выполнена при поддержке Государственного задания № 169-00034-19-00.

1. Кузнецова И.Н., Заринов Р.Б., Коновалов И.Б., Звягинцев А.М., Семутникова Е.Г., Артамонова А.А. Вычислительный комплекс «модель атмосферы – химическая транспортная модель» как модуль системы оценки качества воздуха // Оптика атмосф. и океана. 2010. Т. 23, № 6. С. 485–492.
2. Заринов Р.Б., Коновалов И.Б., Кузнецова И.Н., Беликов И.Б., Звягинцев А.М. Использование моделей WRF ARW и CHIMERE для численного прогноза концентрации приземного озона // Метеорол. и гидрол. 2011. № 4. С. 48–60.
3. 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.
4. 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 // Тр. Гидрометцентра России. 2015. Вып. 357. С. 146–164.
5. 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 // Тр. Гидрометцентра России. 2016. Вып. 360. С. 149–167.
6. Шалыгина И.Ю., Нахаев М.И., Кузнецова И.Н., Березин Е.В., Коновалов И.Б., Блинов Д.В., Курсанов А.А. Сравнение рассчитанных с помощью химических транспортных моделей приземных концентраций

- загрязняющих веществ с данными измерений в Московском регионе // *Оптика атмосф. и океана*. 2017. Т. 30, № 1. С. 53–59.
7. 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 // *Тр. Гидрометцентра России*. 2017. Вып. 365. С. 81–93.
 8. Шалыгина И.Ю., Нахаев М.И., Кузнецова И.Н., Коновалов И.Б., Захарова П.В. Региональная адаптация базы данных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу // *Гидрометеорол. исслед. и прогнозы*. 2018. № 3 (369) С. 33–45.
 9. 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 // *Гидрометеорол. исслед. и прогнозы*. 2019. № 4 (374) С. 203–218.
 10. Блинов Д.В., Ривин Г.С. Система краткосрочного негидростатического прогноза погоды COSMO-Ru: технологическая линия // *Тр. Гидрометцентра России*. 2017. Вып. 365. С. 142–162.
 11. Ривин Г.С., Розинкина И.А., Астахова Е.Д., Блинов Д.В., Бундель А.Ю., Кирсанов А.А., Шатунова М.В., Чубарова Н.Е., Алферов Д.Ю., Вареницов М.И., Захарченко Д.И., Копейкин В.В., Никитин М.А., Полюхов А.А., Ревокатова А.П., Татаринovich Е.В., Чурилин Е.В. Система краткосрочного численного прогноза высокой детализации COSMO-Ru, ее развитие и приложения // *Гидрометеорол. исслед. и прогнозы*. 2019. № 4 (374). С. 27–53.
 12. Holnicki P., Nahorski Z. Emission data uncertainty in urban air quality modeling—case study // *Environ. Model. Assess.* 2015. V. 20. P. 583–597.
 13. Francois S., Grondina E., Fayet S., Ponche J.-L. The establishment of the atmospheric emission inventories of the ESCOMPTE program // *Atmos. Res.* 2005. V. 74. P. 5–35.
 14. Bofeng Caia, Sai Liangb, Jiong Zhouc, Jinnan Wangd, Libin Caoa, Shen Qud, Ming Xud, Zhifeng Yang. China high resolution emission database (CHRED) with point emission sources, gridded emission data, and supplementary socioeconomic data // *Resour., Conserv. & Recycl.* 2018. V. 129. P. 232–239.
 15. URL: https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2018/Air/EMEP/EMEP_MSC-E_POPs.pdf (last access: 19.12.2019).
 16. Пономарев Н.А., Еланский Н.Ф., Захаров В.И., Веревкин Я.М. Оптимизация эмиссий загрязняющих примесей для моделирования качества воздуха в Москве // *Процессы в геосредах*. 2019. № 1. С. 65–73.
 17. Пономарев Н.А., Еланский Н.Ф., Кирсанов А.А., Постыляков О.В., Боровский А.Н., Веревкин Я.М. Применение химико-транспортных моделей атмосферы для валидации эмиссий загрязняющих примесей в Москве // *Оптика атмосф. и океана*. 2020. Т. 33, № 2. С. 119–126.
 18. Антохин П.Н., Гочаков А.В., Колкер А.Б., Пененко А.В. Моделирование распространения примесей в городских условиях с учетом априорной и восстановленной информации // *Тр. междунар. конф. по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды: ENVIROMIS-2018*. Томск, 2018. С. 291–294.
 19. Ревокатова А.П. Метод расчета эмиссии угарного газа для прогноза загрязнения воздуха в Москве // *Метеорол. и гидрол.* 2013. № 6. С. 43–55.
 20. Коновалов И.Б. Оценка многолетних изменений эмиссий оксидов азота в мегаполисах по данным спутниковых измерений // *Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана*. 2011. Т. 47, № 2. С. 220–229.
 21. Mailler S., Khvorostyanov D., Menut L. Impact of the vertical emission profiles on background gas-phase pollution simulated from the EMEP emissions over Europe // *Atmos. Chem. Phys.* 2013. V. 13. P. 5987–5998. URL: <https://doi.org/10.5194/acp-13-5987-2013>
 22. Crippa M., Janssens-Maenhout G., Dentener F., Guizzardi D., Sindelarova K., Muntean M., Van Dingenen R., Granier C. Forty years of improvements in European air quality: The role of EU policy – industry interplay // *Atmos. Chem. Phys. Discuss.* 2016. V. 16. P. 3825–3841. DOI: 10.5194/acp-16-3825-2016.
 23. Конвенция о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния, принята 13 ноября 1979 года: офиц. текст [Электронный ресурс]. Офиц. сайт ООН. URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/transboundary.shtml (last access: 12.12.2019).
 24. Kuenen J.J.P., Visschedijk A.J.H., Jozwicka M., Denier van der Gon H.A.C. TNO-MACC_II emission inventory; a multi-year (2003–2009) consistent high-resolution European emission inventory for air quality modelling // *Atmos. Chem. Phys.* 2014. V. 14, iss. 20. P. 10963–10976.
 25. Menut L., Bessagnet B., Khvorostyanov D., Beekmann M. et al. CHIMERE-2013: A model for regional atmospheric composition modelling // *Geosci. Model Dev.* 2013. V. 6. P. 981–1028. DOI: 10.5194/gmd-6-981-2013.

I.Y. Shalygina, I.N. Kuznetsova, M.I. Nakhaev, D.V. Borisov, E.A. Lezina. Emission correction efficiency for calculations in the CHIMERE chemical transport model in the Moscow region.

The regional correction of the EMEP inventory data (European Monitoring and Evaluation Program) is one of the ways to improve the accuracy of model calculations of pollutant concentrations based on chemical transport models (CTM). Methods for correcting original EMEP emissions are proposed and described. On the example of CTM CHIMERE calculations for the Moscow region, the effectiveness of the application of the emission correction procedure is shown, which is confirmed by a decrease in the errors of model calculations of the PM₁₀ concentration. The completed regional developments for the correction of emissions can be used for other regions of Russia.