

УДК 551.510.42.001.572

Региональная адаптация базы данных выбросов загрязняющих веществ в атмосфере

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

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

²Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород, Россия;

³ГПБУ "Мосэкомониторинг", г. Москва, Россия
irushalyg@gmail.com; muza@mecom.ru

Успешность прогнозирования качества воздуха с использованием химической транспортной модели (ХТМ) во многом зависит от точности данных об источниках и выбросах загрязняющих веществ в атмосферу. В регулярных расчетах ХТМ CHIMERE для Московского региона используются данные об эмиссиях кадастра открытого доступа ЕМЕП (Европейская программа мониторинга и оценки), временная динамика данных которого обсуждается в сравнении с официальными статистическими данными о выбросах загрязняющих веществ в атмосферу. Дано обоснование необходимости региональной адаптации данных ЕМЕП, апробированы и представлены способы их коррекции. Результативность применения пространственной и количественной коррекции демонстрируется путем сравнения модельных расчетов концентраций загрязняющих веществ с данными автоматизированных измерений в Московском регионе.

Ключевые слова: химическая транспортная модель CHIMERE, база данных ЕМЕП, региональная адаптация эмиссий

Regional adaptation of the database of pollutants emissions into the atmosphere

**I.Yu. Shalygina¹, M.I. Nakhaev¹, I.N. Kuznetsova¹,
I.B. Konovalov², P.V. Zaharova³**

¹Hydrometeorological Research Center of Russian Federation, Moscow, Russia;

²Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences, Nizhny Novgorod, Russia;

³Budgetary environmental protection institution «MosEcoMonitoring», Moscow, Russia
irushalyg@gmail.com; muza@mecom.ru

The success of air quality forecasting using a chemical transport model largely depends on the accuracy of data on the sources and emissions of pollutants to the atmosphere. CHIMERE chemical transport model uses EMEP public-access emission inventory for regular calculations over the Moscow region. Temporal dynamics of EMEP data is compared with the official statistics on emissions of pollutants into the atmosphere. The substantiation of the need in the regional adaptation of EMEP data is given, the methods of their correction are tested and presented. The effectiveness of the spatial and quantitative correction is demonstrated by comparing the model data with the automated measurements of the concentration of air pollutants in the Moscow region.

Keywords: CHIMERE chemical transport model, EMEP database, regional adaptation of emissions

Введение

В Гидрометцентре России расчет концентраций загрязняющих веществ в Московском регионе производится с использованием химической транспортной модели (ХТМ) CHIMERE версии 2013b [9, 11] с шагом сетки по горизонтали $0,25 \times 0,125^\circ$ [2, 3]. Горизонтальный домен занимает часть Центральной России в границах $53\text{--}57^\circ$ с. ш. и $35\text{--}45^\circ$ в. д. При моделировании CHIMERE используют выходные параметры оперативной метеорологической модели COSMO-Ru7 с горизонтальным разрешением около $0,0625^\circ$. Параметры атмосферы моделируются на 12 уровнях от поверхности земли до 200 гПа. Тропосферная фотохимия основана на использовании упрощенного механизма MELCHIOR2, который включает около 120 реакций и 44 газовых примесей. 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, при этом для нитратов и аммиака – из базы данных (БД) LMDz-INCA с разрешением $3,75 \times 2,5^\circ$, для остальных аэрозолей из БД GOCART. По умолчанию в ХТМ CHIMERE эмиссии NO_x распределены следующим образом: 9,2 % приходится на NO_2 , 0,8 % – HONO , и 90 % – NO [11].

Для расчетов ХТМ CHIMERE используются данные эмиссий кадастра открытого доступа ЕМЕР (<http://www.emep.int/>). БД эмиссий ЕМЕР формируется по данным государственных отчетов об антропогенных выбросах загрязняющих веществ в атмосферу с ежегодным обновлением данных. Данные о выбросах на территории России предоставляет Росстат. Предоставление данных в ЕМЕР различными странами с временным сдвигом и требуемое время для обработки являются факторами временного смещения данных о национальных выбросах. Так, сегодня в БД ЕМЕР информация по России имеется за 2015 год [13] (http://ceip.at/ms/ceip_home1/ceip_home/data_viewers/official_tableau/).

Годовые объемы эмиссий в ЕМЕР рассчитываются на сетках $0,5 \times 0,5^\circ$ и $0,1 \times 0,1^\circ$; единицы измерения – Мг/ячейка. В базе содержатся данные выбросов NO_x , SO_x , NH_3 , NMVOC, CO, $\text{PM}_{2.5}$ и PM_{10} , CO_2 . В текущей конфигурации ХТМ CHIMERE используются данные ЕМЕР на сетке $0,5 \times 0,5^\circ$; территорию Москвы и прилегающих пригородов описывают 6 ячеек сетки ЕМЕР. В кадастре ЕМЕР данные эмиссий относятся к узлам сетки, там содержатся данные по каждому источнику и по каждому загрязняющему веществу.

Результаты регулярного контроля качества расчетов ХТМ CHIMERE концентраций загрязняющих веществ в Московском регионе [5, 6] дают основание предполагать, что существующие модельные погрешности (систематическое завышение концентраций оксида углерода и оксидов азота) в определенной мере связаны с неточностью объемов эмиссий в БД ЕМЕР

на территории Московского региона. В представленной работе обсуждаются особенности региональных данных эмиссий кадастра ЕМЕР, способы их адаптации и результативность проведенной коррекции.

Анализ данных эмиссий ЕМЕР

По данным ЕМЕР за 2008 год (ниже ЕМЕР2008) на европейской части России суммарные эмиссии угарного газа (СО) составляют 10927,1 кило тонн в год (кт/г), из них 8,5 тыс. кт/г приходилось на выбросы автотранспорта. Суммарный выброс NO_x равен 3446,5 кт/г, включая 2,4 тыс. кт/г выбросы NO_x автотранспортом.

В кадастре эмиссий ЕМЕР2013 по сравнению с ЕМЕР2008 суммарные выбросы СО сократились на 40 %, NO_x – на 37 %.

Выполненные нами сравнения суммарных выбросов ЕМЕР2013 и ЕМЕР2015 существенных различий не показали.

Вместе с тем по данным Государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды РФ» [<http://ecogosdoklad.ru/>] процентное соотношение выбросов в атмосферу различных загрязняющих веществ на территории Москвы и Московской области от 2008 к 2016 году существенно не изменилось: на долю промышленных выбросов приходится в столице 6–7 %, в Московской области – 21–27 %, оставшаяся доля приходится на автотранспорт.

Важно, что данные ЕМЕР и приведенные в Государственном докладе сведения отличаются от сведений, содержащихся в «Докладе о состоянии окружающей среды в городе Москве в 2016 году» [<https://www.mos.ru/eco/documents/doklady/>]. Указанный в этой публикации объем выбросов загрязнений в атмосферу автотранспортом в Москве в три раза меньше. Одним из объяснений такого несовпадения в количестве и тенденциях эмиссий может быть применение новых методик расчетов выбросов в атмосферу, которые использовались при подготовке «Доклада о состоянии окружающей среды в городе Москве в 2016 году» [1], в то время как сведения в Государственном докладе получены на основе расчетов, использующих данные о количестве зарегистрированного автотранспорта и его среднем пробеге.

Проведен анализ кадастров эмиссий ЕМЕР 2008 и 2013 гг. с целью изучения изменений вклада различных источников эмиссий – SNAP (Selected Nomenclature for sources of Air Pollution) в суммарные эмиссии (табл. 1).

Установлено, что в ЕМЕР2008 автотранспорт (SNAP7) вносит основной вклад в выбросы СО и NO_x (соответственно, 80–85 и 85–90 %). Вторым по вкладу в суммарный выброс СО (7–15 %) являются выбросы, поступающие в атмосферу от сжигания в обрабатывающей промышленности (SNAP3). Такого же порядка (9–15 %) в выбросах NO_x доля второго по величине источника этого вещества, в отличие от СО – это SNAP1

(«сжигание в энергетической промышленности»). Отдельно подчеркнем, что в БД ЕМЕР2013 вклад автотранспорта в выбросы CO уменьшился до 50–55 %, в эмиссии NO_x – до 40 %.

Таблица 1. Типизация источников загрязняющих веществ
(<https://www.eea.europa.eu/ru/publications/rukovodstvo-emer-inventarizacii>).

Table 1. Typification of sources of pollutants

SNAP 1	Сжигание в энергетической промышленности
SNAP 2	Сжигание на непромышленных заводах
SNAP 3	Сжигание в обрабатывающей промышленности
SNAP 4	Производственные процессы
SNAP 5	Извлечение и распределение ископаемого топлива и геотермической энергии
SNAP 6	Использование растворителей
SNAP 7	Автомобильный транспорт
SNAP 8	Другие мобильные источники и механизмы
SNAP 9	Переработка отходов и утилизация
SNAP 10	Сельское хозяйство
SNAP 11	Другие источники (естественные и биогенные источники)

Сравнение расчетов ХТМ CHIMERE с эмиссиями ЕМЕР2008 и ЕМЕР2013

Сравнительный анализ проведен по экспериментальной выборке (24–30 января 2018 г.) расчетов ХТМ CHIMERE с усвоением эмиссий ЕМЕР2008 и ЕМЕР2013. На рис. 1 представлен временной ход концентраций CO в узлах двух модельных ячеек ХТМ (по две линии одного цвета, пунктирная линия – ячейка, описывающая северную половину города, прямая – южную) вместе с усредненной измеренной на автоматических станциях контроля загрязнения атмосферы ГПБУ «Мосэкомониторинг» (АСКЗА) концентрацией CO. Заметим, что в период экспериментальных расчетов преобладали условия интенсивного рассеивания, лишь в первые дни наблюдались условия слабого рассеивания. Но при любых метеорологических условиях, как показало сравнение, рассчитанные концентрации с данными эмиссий ЕМЕР2013 меньше концентраций с эмиссиями ЕМЕР2008 в основном на 12–20 %; в условиях ослабленного рассеивания расчеты CO отличаются в 1,5–2 раза.

Более убедительные результаты получены при анализе расчетов во всех шести вписанных в контур Москвы модельных ячейках сетки ХТМ CHIMERE в рассматриваемый 7-дневный период с привлечением данных наблюдений на 35 АСКЗА. Установлено, что при замене эмиссий ЕМЕР2008 на ЕМЕР2013 модельные погрешности расчетов CO и NO₂

уменьшились (табл. 2). Наиболее яркий результат получен по расчетам СО; средняя и абсолютная ошибка расчетов его уменьшились почти в 2 раза. Иного знака оказалась реакция на замену эмиссий ЕМЕР2008 на ЕМЕР2013 в расчетах NO, если по расчетам с эмиссиями ЕМЕР2008 отклонения «модель – измерение» были меньше 10 мкг/м^3 , то с эмиссиями ЕМЕР2013 величина средней ошибки возросла почти в 2 раза. К тому же знак средней ошибки изменился на отрицательный, что указывает на систематическое занижение в модельных расчетах концентрации NO, хотя стандартное отклонение ошибки с данными ЕМЕР2013 оказалось вдвое меньше.

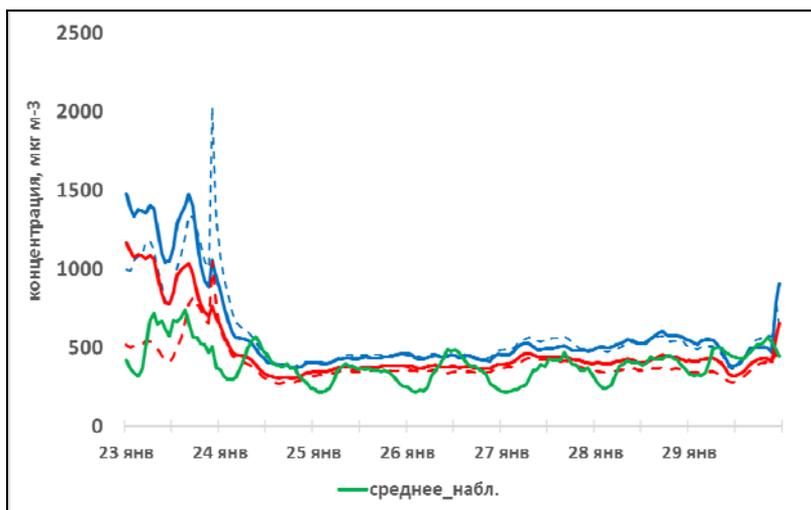


Рис. 1. Временной ход концентрации СО (мкг/м^3), усредненной по измерениям на 19 АСКЗА (зеленая линия), по расчетам ХТМ CHIMERE с эмиссиями ЕМЕР2008 (две синие линии) и ЕМЕР2013 (красные линии). 24–30 января 2018 г.

Fig.1. The time course of the concentration of CO ($\mu\text{g} / \text{m}^3$) averaged from the measurements for 19 ASKZA (green line), calculated by CTM CHIMERE with emissions of ЕМЕР2008 (two blue lines) and ЕМЕР2013 (red lines). January 24-30, 2018.

В то же время замена эмиссий ЕМЕР2008 на ЕМЕР2013 мало повлияла на дисперсию и величину отклонений модельных расчетов NO_2 . Но уменьшение средней ошибки даже при смене знака является позитивным результатом смены данных об эмиссиях.

В целом, результаты, полученные в серии численных расчетов ХТМ CHIMERE с вариациями усвоения эмиссий ЕМЕР2008 и ЕМЕР2013, позволяют сделать вывод о целесообразности использования данных ЕМЕР2013 в исследовательских расчетах ХТМ CHIMERE, предварительно проведя коррекцию эмиссий, описание которой приводится ниже.

Таблица 2. Показатели модельных расчетов часовых концентраций CO, NO₂, NO (мкг/м³) ХТМ CHIMERE с данными ЕМЕР2008 и ЕМЕР2013. 24-30 января 2018

Table 2. Indicators of model calculations of the hourly concentrations of CO, NO₂, NO (µg/m³) of CTM CHIMERE with EMEP2008 and EMEP2013 data. January 24-30, 2018

	Средняя ошибка	Абсолютная ошибка	Стандартное отклонение ошибки
CO			
ЕМЕР 2008	182–208	203–223	226–254
ЕМЕР 2013	9–86	101–134	127–182
NO₂			
ЕМЕР 2008	15–16	17–18	13–14
ЕМЕР 2013	-(3–10)	12–15	13
NO			
ЕМЕР 2008	5–9	17–19	29–33
ЕМЕР 2013	-(11–17)	15–18	14–15

Пространственное перераспределение эмиссий ЕМЕР

Региональная коррекция эмиссий применяется многими исследователями с целью приближения модельных расчетов к наблюдаемым в конкретном регионе; такой опыт описывается, например, в [8, 10, 12].

Согласно кадастру ЕМЕР, эмиссии загрязняющих веществ (CO, NO_x, PM₁₀) распределены по территории Московского региона неравномерно с выраженным максимумом в южной части города (рис. 2 а).

Надо подчеркнуть, что в БД ЕМЕР2013 (http://ceip.at/ms/ceip_home1/ceip_home/data_viewers/official_tableau/) 86 % эмиссий приходится на автотранспорт (SNAP7), в которых выбросы CO составляют 76 %, NO_x – 11 %, 12 % приходится на неметановые углеводороды (NMVOC). Количественные характеристики годового объема эмиссий в шести ячейках ЕМЕР (на сетке 0,5×0,5°) на примере выбросов угарного газа автотранспортом приведены в табл. 3. Приведенные объемы эмиссий подтверждают иллюстрации рис. 2 а, на котором отчетливо локализуется максимум; к тому же, как видно в табл. 3, объем выбросов в ячейке 3 в 1,5–2 раза превышает эмиссии в соседних ячейках. Такое распределение выбросов автотранспорта нехарактерно для московской городской агломерации. В работах [1, 4], посвященных анализу выбросов автотранспорта в Москве, указывается на относительно равномерно распределенные транспортные потоки в городе в соответствии с улично-дорожной сетью мегаполиса, в большей степени напоминающей паутину. Слабовыраженные максимумы эмиссий автотранспорта в основном «привязаны» к Московской кольцевой автодороге (МКАД).

Учитывая эти факты, а также пространственное разрешение БД ЕМЕР и текущей конфигурации ХТМ СИМЕРЕ выполнено экспериментальное перераспределение эмиссий на территории города, а именно проведено осреднение величин эмиссий CO и NO_x автотранспорта (SNAP7) в 1 и 2-ой ячейках, а также в 3 и 4-ой (рис. 2 б, в).

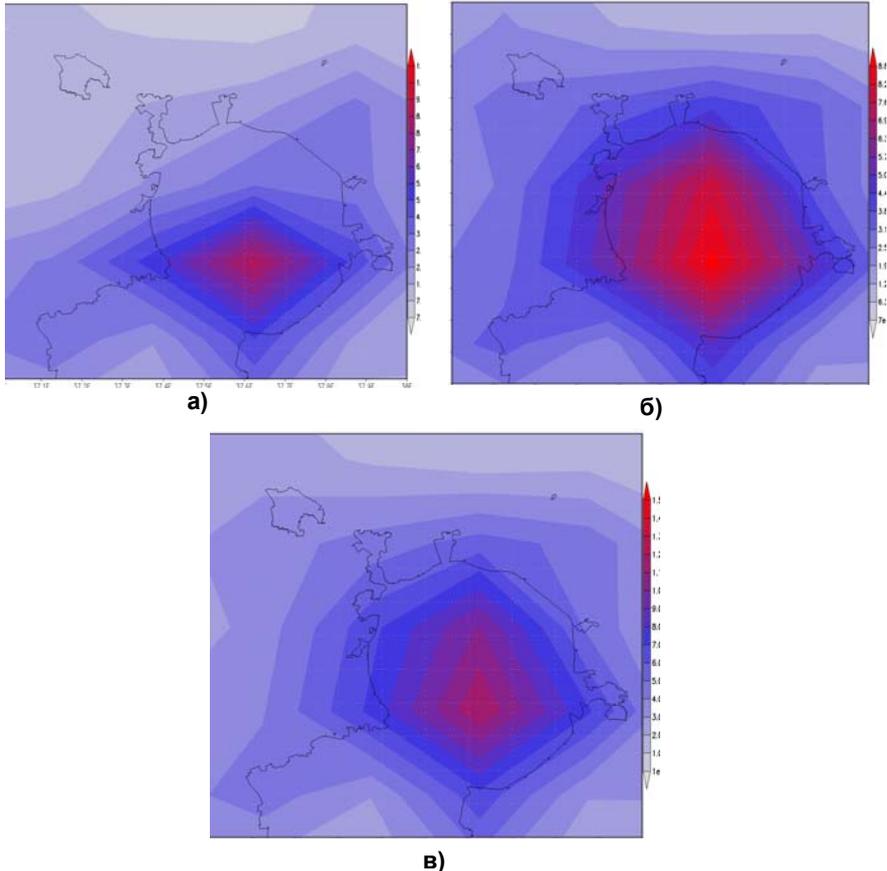


Рис. 2. Поле эмиссий CO (молекула/см²/с): в БД ЕМЕР2013 (а), поле эмиссии CO(б), NO_x(в), скорректированное путем пространственного выравнивания годового объема выбросов.

Fig. 2. CO emission field (molecule / cm² / s): in BD EMEP2013 (a), emission field of CO (b), NO_x (in), corrected by spatial equalization of annual emissions.

Результативность выполненного количественного перераспределения эмиссий автотранспорта (SNAP7) подтверждена изменениями в поле концентраций на территории Москвы в условиях ослабленного рассеивания и практически не обнаруживается при интенсивном рассеивании примеси. Так, средние суточные концентрации CO и NO_x в северной части города в условиях ослабленного рассеивания увеличились на 5–10 % и примерно на

столько же стали меньше суточные концентрации на юге мегаполиса. При этом за границами города изменения в поле концентраций едва выражены (не более 5 %).

Таблица 3. Эмиссии CO (Mг/ячейка), SNAP7. ЕМЕР2013

Table 3. Emissions CO (Mg/cell), SNAP7. ЕМЕР2013

Номер ячейки	Mг/ячейка	Номер ячейки	Mг/ячейка	Номер ячейки	Mг/ячейка
2	20232	4	32297	6	38632
1	46320	3	68929	5	40310

Изменения доли SNAP в суммарном выбросе загрязняющих веществ

В БД ЕМЕР2013 эмиссии распределены между низкими и высокими источниками загрязняющих веществ, выбросы которых задаются в 6 слоях до высоты около 1100 м (табл. 4). Следует отметить, что в ЕМЕР2013 структура выбросов значительно изменена по сравнению с БД ЕМЕР2008. Так, в суммарных эмиссиях NO_x значительно увеличена доля высоких источников SNAP1 («сжигание в энергетической промышленности») и SNAP3 («сжигание в обрабатывающей промышленности») – на 7–12 %. Одновременно на 30–40 % уменьшены выбросы от автомобильных источников (SNAP7). Возможно, смещение части объема выбросов от низких источников к приподнятым и высоким в ЕМЕР2013 является основной причиной значительного уменьшения концентраций NO, обнаруженного в ходе экспериментальных расчетов ХТМ (табл. 2).

Учитывая то, что согласно Государственным докладам «О состоянии и об охране окружающей среды РФ» [<https://www.mos.ru/eco/documents/doklady/>, <http://ecogodoklad.ru/>] процентное соотношение состава выбросов в атмосферу от 2008 к 2016 году на территории Москвы и Московской области не поменялось, и с целью уменьшения модельных погрешностей при переходе на эмиссии последних лет выполнены некоторые изменения в регионально адаптированной БД эмиссий, приняты за основу процентное соотношение вклада разных источников (SNAP) в кадастре ЕМЕР2008. В частности, сделав предположение, что занижение NO происходит за счет недостатка выбросов этого вещества в приземный слой, был увеличен объем выбросов SNAP7 за счет SNAP1.

Также, учитывая, что в БД ЕМЕР2013 в выбросы CO в 8 раз увеличен вклад SNAP4 («производственные процессы») – до 10-25 %, в регионально адаптированной БД эмиссий проведено перераспределение эмиссии CO между SNAP4 и SNAP7. А именно, сохранив объем выбросов CO от SNAP4 как в ЕМЕР2008, «излишек» был перенесен в SNAP7 («автомобильный транспорт»).

Таблица 4. Вертикальное распределение антропогенных эмиссий от типовых источников выбросов (SNAP)

(<https://www.eea.europa.eu/ru/publications/rukovodstvo-emep-inventarizacii>)

Table 4. Vertical distribution of Anthropogenic Emissions: Percentage of each SNAP sector allocated to the vertical layers of the EMEP model (given as heights of layers, in m)

SNAP	Источник	Слой эмиссии, м					
		0–92	92–184	184–324	324–522	522–781	781–1106
1	Сжигание в энергетической промышленности			15	40	30	15
2	Сжигание на непромышленных заводах	100					
3	Сжигание в обрабатывающей промышленности	10	10	15	30	30	5
4	Производственные процессы	90	10				
5	Извлечение и распределение ископаемого топлива и геотермической энергии	90	10				
6	Использование растворителей	100					
7	Автомобильный транспорт	100					
8	Другие мобильные источники и механизмы	100					
9	Переработка отходов и утилизация	10	15	40	35		
10	Сельское хозяйство	100					

Отметим, что увеличение вклада и объема эмиссий от низких источников способствовало снижению модельных погрешностей; по расчетам на выборке 23–31 января 2018 г. средняя суточная концентрация NO увеличилась до 20 %, NO₂ – до 7 %.

Важным результатом проведенной коррекции стало приближение модельного поля концентраций к реально наблюдаемому распределению на территории Москвы. В частности, в северной половине города, где загрязнение воздуха по расчетам ХТМ CHIMERE чаще всего занижалось, после коррекции концентрации загрязняющих веществ в среднем увеличились

при одновременном их понижении в южной части мегаполиса. Этот результат иллюстрирует рис. 3, где показаны разности модельных часовых концентраций CO до и после коррекции: отрицательные разности – в южной части города (АСКЗА Шаболовка, Бирюлево, ул. Толбухина, Вешняки), где эмиссии были уменьшены, и положительные разности – в северном секторе города (АСКЗА Сухаревка, ул. Долгопрудная, ул. Народного Ополчения).

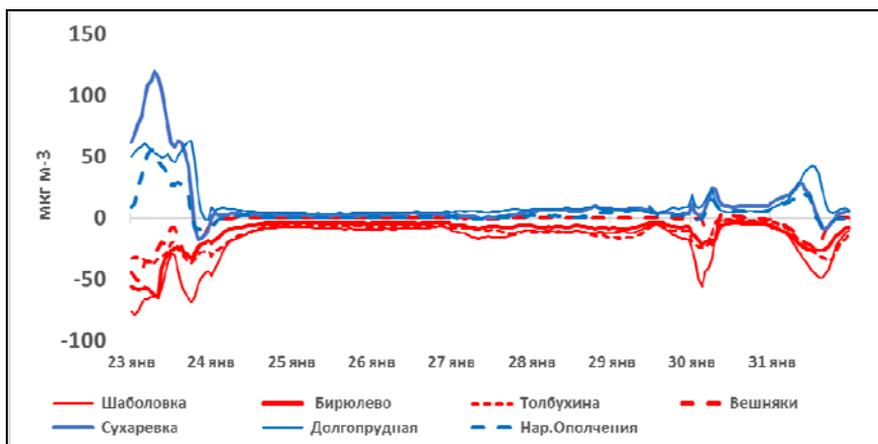


Рис. 3. Разность часовых модельных концентраций CO, рассчитанных ХТМ CHIMERE, до и после региональной коррекции эмиссий ЕМЕР. 23–31 января 2018 г.

Fig. 3. The difference in the hourly model CO concentrations calculated by the CTM CHIMERE before and after the regional correction of EMEP emissions. January 23-31, 2018.

Как видно, знаки разности концентраций до и после коррекции сохраняются в течение всего расчетного периода, достигая максимума 50–120 мг/м³ в периоды ослабленного рассеивания (в начале и конце временной серии).

Заключение

Изучено и показано, что в данных кадастра ЕМЕР, относящихся к Московскому региону, в последние годы произошли структурные и количественные изменения годовых объемов выбросов. В кадастре ЕМЕР 2013 года суммарные выбросы основных загрязняющих веществ сократились по сравнению с данными ЕМЕР 2008 года, в частности выбросы CO – на 40 %, NO_x – на 37 %. Данные базы данных ЕМЕР используются для расчетов полей концентраций загрязняющих веществ по химической транспортной модели CHIMERE с горизонтальным шагом 11 км.

Учитывая содержащиеся в государственных докладах сведения о валовых выбросах в атмосферу, а также результаты расчетов эмиссий

автомобильного транспорта в Москве, предложены и апробированы некоторые способы региональной коррекции данных ЕМЕР. На экспериментальных выборках показано, что выполненная количественная и пространственная коррекция эмиссий обеспечила уменьшение модельных погрешностей и сглаживание городского поля концентраций загрязняющих веществ; максимальный эффект коррекции эмиссий проявляется в периоды ослабленного рассеивания.

Планируется продолжить исследования по региональной адаптации эмиссий глобальных кадастров, представленных на сетке $0,1 \times 0,1^\circ$.

Список литературы

1. Донченко В.В., Кунин Ю.И., Рузский А.В., Виженский В. Методы расчёта выбросов от автотранспорта и результаты их применения // Журнал автомобильных инженеров. 2014. № 3 (86) С. 44-51.
2. 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.
3. 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.
4. Ткачева Ю.В. Методика интерполяции кусочно-линейных данных об эмиссиях автотранспорта на регулярную модельную сетку // Труды Гидрометцентра России. 2018. № 2 (368). С. 170-180.
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 // Труды 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., 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
7. CHIMERE chemistry-transport model. Institute Pierre Simon Laplace, 2001–2017. <http://www.lmd.polytechnique.fr/chimere/>.
8. Fei Liu, Ronald J. van der A., Henk Eskes, Jieying Ding, Bas Mijling. Evaluation of modeling NO2 concentrations driven by satellite-derived and bottom-up emission inventories using in situ measurements over China // Atmos. Chem. Phys. 2018. Vol. 18, is. 6. P. 4171-4186.
9. 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>.
10. Menut L., Goussebaile A., Bessagnet B., Khvorostyanov D., Ung A. Impact of realistic hourly emissions profiles on air pollutants concentrations modelled with CHIMERE // Atmospheric Environment. 2012. Vol. 49. P. 233-244.

11. Menut L., Bessagnet B., Khvorostyanov D., Beekmann M. et al. CHIMERE-2013: a model for regional atmospheric composition modelling // *Geosci. Model Dev.* 2013. Vol. 6. P. 981-1028, DOI:10.5194/gmd-6-981-2013,
12. Mues A., Kuenen J., Hendriks C., Manders A., Segers A., Scholz Y., Hueglin C., Builjtes P., Schaap M. Sensitivity of air pollution simulations with LOTOS-EUROS to the temporal distribution of anthropogenic emissions // *Atm. Chem. Phys.* 2014. Vol. 14, i. 2. P. 939-955.
13. Simpson et al. The EMEP MSC-W chemical transport model - technical description // *Atmos. Chem. Phys.* 2012. Vol. 12. P. 7825-7865.

References

1. Donchenko V.V., Kunin Yu.I., Ruzsky A.V., Vizhensky V. Methods for estimating emissions from vehicles and their application. *Zurnal AAI*, 2014, vol. 86, no. 3, pp. 44-51. [in Russ.].
2. Nahaev M.I., Berezin E.V., Shalygina I.Yu., Kuznetsova I.N., Kononov I.B., Blinov D.V., Lesina E.A. Pilot calculations of PM10 and CO concentrations with complex models CHIMERE and COSMO-Ru7. *Optika Atmosfery i Okeana [Atmospheric and Oceanic Optics]*, 2015, vol. 28, no. 06, pp. 569-578 [in Russ.].
3. Nakhayev M.I., Berezin E.V., Shalygina I.Yu., Kuznetsova I.N., Kononov I.B., Blinov D.V. Prediction of pollutant concentrations in the atmosphere using the chemical transport model CHIMERE and the model COSMO-Ru7. *Trudy Gidromettsentra Rossii [Proceedings of the Hydrometcentre of Russia]*, 2015, vol. 357, pp. 146-164. [in Russ.].
4. Tkacheva Ju.V. Methodology of interpolating piecewise linear data on vehicle emissions on a regular model grid. *Trudy Gidromettsentra Rossii [Proceedings of the Hydrometcentre of Russia]*, 2018, vol. 368, no. 2, pp. 170-180. [in Russ.].
5. Shalygina I.Y., Kuznetsova I.N., Nahaev M.I., Kononov I.B., Berezin E.V. The comparison of diurnal variations of air pollutants using measurements and calculations of a chemical transport model. *Trudy Gidromettsentra Rossii [Proceedings of the Hydrometcentre of Russia]*, 2016, vol. 360, pp. 149-167. [in Russ.].
6. Shalygina I.Yu., Nahaev M.I., Kuznetsova I.N., Berezin E.V., Kononov I.B., Blinov D.V., Kirsanov A.A. Comparison of the ground concentration of the polluting substances calculated by means of xtm with data of measurements in the Moscow region. *Optika Atmosfery i Okeana [Atmospheric and Oceanic Optics]*, 2017, vol. 30, no. 1, pp. 53-59 [in Russ.].
7. CHIMERE chemistry-transport model. Institute Pierre Simon Laplace, 2001-2017. <http://www.lmd.polytechnique.fr/chimere/>.
8. Fei Liu, Ronald J. van der A., Henk Eskes, Jieying Ding, Bas Mijling. Evaluation of modeling NO2 concentrations driven by satellite-derived and bottom-up emission inventories using in situ measurements over China. *Atmos. Chem. Phys.*, 2018, vol. 18, no. 6, pp. 4171-4186.
9. 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, pp. 2397-2423, DOI: 10.5194/gmd-10-2397-2017.
10. Menut L., Goussebaile A., Bessagnet B., Khvorostyanov D., Ung A. Impact of realistic hourly emissions profiles on air pollutants concentrations modelled with CHIMERE. *Atmospheric Environment*, 2012, vol. 49, pp. 233-244.

11. Menut L., Bessagnet B., Khvorostyanov D., Beekmann M. et al. CHIMERE-2013: a model for regional atmospheric composition modelling. *Geosci. Model Dev.*, 2013, vol. 6, pp. 981-1028, DOI: 10.5194/gmd-6-981-2013

12. Mues A., Kuenen J., Hendriks C., Manders A., Segers A., Scholz Y., Hueglin C., Builtjes P., Schaap M. Sensitivity of air pollution simulations with LOTOS-EUROS to the temporal distribution of anthropogenic emissions. *Atm. Chem. Phys.*, 2014, vol. 14, no. 2, pp. 939-955.

13. Simpson et al. The EMEP MSC-W chemical transport model - technical description. *Atmos. Chem. Phys.*, 2012, vol. 12, pp. 7825-7865.

Поступила в редакцию 18.09.2018 г.

Received by the editor 18.09.2018.