

DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2021-3-150-161>
УДК 504.3.054

**Уточнение данных о землепользовании
для расчетов эмиссий
в химической транспортной модели CHIMERE
на примере нижегородского региона**

Д.В. Борисов, И.Ю. Шалыгина

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр
Российской Федерации, г. Москва, Россия
shalygina@mecom.ru*

Успешность расчетов концентраций загрязняющих веществ химической транспортной модели (ХТМ) во многом зависит от достоверности используемых данных о выбросах в атмосферу. На примере нижегородского региона обсуждается возможность уточнения полей эмиссий ЕМЕП (European Monitoring and Evaluation Programme) для расчетов химической транспортной модели CHIMERE с использованием геоинформационных данных OpenStreetMap. Процедура уточнения используемых данных о землепользовании GlobCover с помощью OpenStreetMap обеспечила увеличение доли городских территорий в регионе на 3,3 % и приближение конфигурации поля эмиссий к реальному распределению источников выбросов в атмосферу. Экспериментальные расчеты концентраций загрязняющих веществ на основе химической транспортной модели CHIMERE с начальными и уточненными полями эмиссий показали эффективность предложенного подхода.

Ключевые слова: эмиссии, ЕМЕП, землепользование, OpenStreetMap, химическая транспортная модель CHIMERE, качество воздуха

**Refinement of land use data
for emission calculations in the CHIMERE
chemistry-transport model:
A case study for the Nizhny Novgorod region**

D.V. Borisov, I.U. Shalygina

*Hydrometeorological Research Center of Russian Federation, Moscow, Russia
shalygina@mecom.ru*

The quality of calculating the concentration of pollutants in the chemistry-transport model largely depends on the reliability of used emission data. The possibility of updating the EMEP (European Monitoring and Evaluation Program) emission data using OpenStreetMap geodata for the CHIMERE chemistry-transport model calculations is discussed on the example of the Nizhny Novgorod region. The GlobCover land-use data refinement procedure based on OpenStreetMap information provides a 3.3% increase in the urban area and a more accurate configuration of the emission field as compared to the real distribution of sources of atmospheric emissions. Experimental CHIMERE

chemistry-transport model calculations of pollutant concentrations based on the initial and updated emission fields demonstrated the efficiency of the proposed approach.

Keywords: emissions, EMEP, land use, OpenStreetMap, CHIMERE chemistry-transport model, air quality

Введение

Оценка и прогноз качества воздуха остаются актуальными задачами. Современным инструментом прогноза концентраций загрязняющих веществ являются химические транспортные модели [11]. В рамках европейского проекта Copernicus для прогнозирования качества воздуха используется ансамбль химических транспортных моделей (ХТМ) включающий ХТМ CHIMERE, EMEP, EURAD-IM, LOTOS-EUROS, MATCH, MOCAGE, SILAM, DENM, GEM-AQ (http://mass-raq-op.meteo.fr/index.php?category=ensemble&subensemble=hourly_ense). Кроме концентраций основных загрязняющих веществ рассчитываются также индексы качества воздуха, перенос пылицы и продуктов горения пожаров.

ХТМ CHIMERE уже около 10 лет используется для прогноза качества воздуха в Москве на вычислительной платформе ФГБУ «Гидрометцентр России». Сегодня расчеты проводятся для отдельных областей Европейской части России на основе CHIMERE версии 2013b [13] с шагом сетки по горизонтали $0,038 \times 0,02^\circ$. Для расчетов ХТМ CHIMERE используются данные об эмиссиях EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme) [6] в узлах регулярной сетки $0,5 \times 0,5^\circ$ [5], а также прогностические данные модели COSMO-Ru2 с горизонтальным разрешением около $0,02^\circ$ [2].

Свободный доступ к данным эмиссий EMEP (<https://www.ceip.at>) дает возможность редактировать содержимое этой базы. Проведенные эксперименты по пространственной коррекции данных EMEP на территории московского региона обсуждаются в [4], где показано, что уточненное поле эмиссий в определенной мере отражает городскую структуру выбросов. Но такой подход может применяться для устранения грубых неточностей в пространственном распределении эмиссий.

Пространственному разрешению модели атмосферы и ХТМ должна соответствовать и степень детализации подстилающей поверхности, т. е. типов землепользования и растительного покрова.

Сегодня во многих ХТМ для территории Европы применяется база данных о землепользовании CORINE [12], в которой с разрешением 250 м различаются более 40 типов поверхностей. В CORINE описываются шесть типов городской и индустриальной подстилающей поверхности.

Для территории России доступны две базы данных о землепользовании: GlobCover (GlobCover Land Cover) [5] и GLCF (Global Land Cover Facility) [9]. База данных GLCF имеет разрешение 1×1 км, разработана Отделом Университета Географии Мэриленда (<http://www.landcover.org>).

На основе спутниковых снимков произведен учет 14 классов почвенно-растительного покрова.

База данных GlobCover имеет разрешение по горизонтали примерно 300×300 метров. GlobCover содержит уже 22 класса земного покрова, разработана по инициативе Европейского космического агентства (<http://due.esrin.esa.int/globcover/>).

Встроенной в модель XTM CHIMERE процедурой данные ЕМЕР, представленные на регулярной сетке (Мг/ячейка/год), пересчитываются на сетку XTM с учетом типов землепользования GlobCover. В этой базе данных землепользования городским территориям соответствует только один тип – «искусственные поверхности и связанные с ними территории (городские территории >50 %)».

В данной работе обсуждается возможность уточнения поля эмиссий с применением современной геоинформационной системы OpenStreetMap. Данные этого веб-ресурса использовались рядом исследователей для различных задач. Так, в [3] приведены оценки применимости данных OpenStreetMap для задания параметров городской поверхности, используемых для моделирования городского «острова тепла», и подробно описана технология моделирования городских каньонов с использованием данных OSM. В [14] описана технология ГИС-обработки данных OpenStreetMaps для расчетов метеорологических параметров по городским территориям в модели атмосферы COSMO.

Эксперимент по уточнению начальных данных о землепользовании методом классификационной коррекции архивных спутниковых изображений с применением классификатора максимального правдоподобия (Maximum Likelihood Classifier, MLC) описан в [8]. В [7] показана обработка спутниковых изображений земли нейронной сетью с целью получения качественных данных о землепользовании. Объединение нескольких наборов данных о землепользовании с различным разрешением и проведение переклассификации для получения единого кадастра данных о землепользовании, охватывающего большую часть территории Европы, проиллюстрировано в [10].

Наши исследования с применением OpenStreetMap для уточнения пространственного и количественного распределения выбросов в атмосферу проведены для территории Нижнего Новгорода и прилегающих окрестностей – крупного промышленного региона с населением около 1,5 млн.

Анализ полей эмиссий ЕМЕР на территории Нижнего Новгорода с использованием данных о землепользовании GlobCover

Анализ поля эмиссий для территории Нижнего Новгорода, полученного путем интерполяции данных кадастра ЕМЕР на основании данных о землепользовании GlobCover на расчетную модельную сетку 2,4×2,2 км,

и непосредственно пространственного распределения «городских» ячеек кадастра GlobCover (300×300 м) представлен на рис. 1.

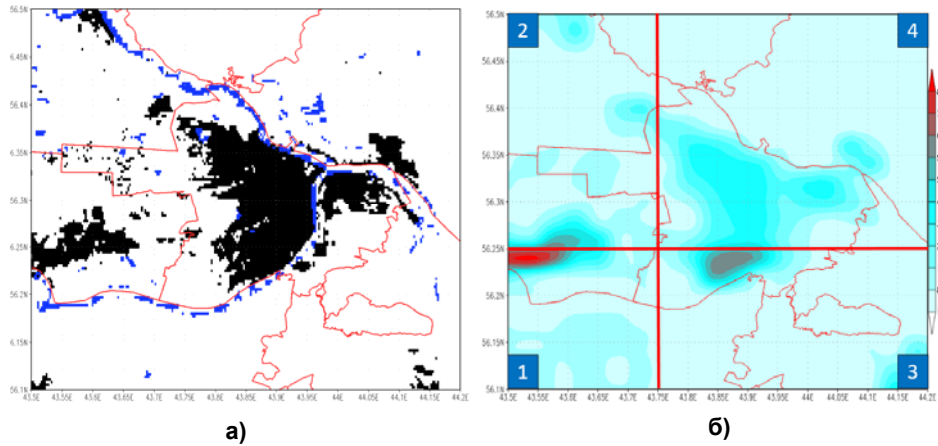


Рис. 1. «Городские» ячейки кадастра GlobCover 300×300 м – показано черным (а); эмиссий CO для территорий Нижнего Новгорода (г/ч, на сетке 2,4×2,2 км) (б).

Fig. 1. GlobCover inventory "urban" 300×300 m cells (a); CO emissions for the territories of Nizhny Novgorod (g / h, 2.4×2.2 km grid) (б).

Поле эмиссий (рис. 1б) по своей конфигурации совпадает с конфигурацией городских ячеек в кадастре землепользования (рис. 1а), на юге города выделяется в поле эмиссий локальный максимум.

Анализ данных из открытых источников [1] о распределении основных источников выбросов в Нижнем Новгороде позволил установить, что на юге города не сосредоточены более крупные автотранспортные развязки и промышленные предприятия, чем в других частях города, т. е. столь выраженный максимум выбросов в этой части города не обоснован. Часть территорий, входящих в границы города, в кадастре не описаны как городские, на окраинах города уровень эмиссий рассчитывается как фоновый, т. е. пространственное распределение выбросов напрямую зависит от данных о землепользовании. На рис. 1б приведено поле эмиссий CO, по другим веществам – NO_x, PM, SO₂ – конфигурация полей совпадает с приведенным.

Процедура уточнения данных о землепользовании

Сопоставление данных о землепользовании GlobCover проводилось с использованием геоинформационных данных OpenStreetMap – ниже OSM (<https://www.openstreetmap.org>) компании NextGIS (<https://nextgis.ru/>), которая занимается обработкой данных с целью их дальнейшего использования в различных проектах.

Анализ данных проведен по домену, охватывающему территории Нижнего Новгорода, Дзержинска и ближайших к ним населенных пунктов. Координаты границ домена: 43,5–44,2° в. д., 56,1–56,5° с. ш. (рис. 1а).

Геоинформационные данные OSM представлены в виде «полигонов» – произвольных многоугольников с координатами их вершин. В базе OSM тип землепользования обозначен для каждого полигона. Используемые данные GlobCover представлены в узлах регулярной сетки с типом землепользования. Различия структуры двух баз данных усложняет их сопоставление.

Технология анализа и сравнения данных о землепользовании и их дальнейшего уточнения включает в себя несколько этапов.

Сначала подготавливаются и обрабатываются входные данные. Координаты узлов сетки GlobCover для заданного домена и значения землепользования, принадлежащие им, считываются из кадастра с использованием «NetCDF функций», записанных в предустановленной библиотеке «NetCDF». Координаты узлов сетки записываются в отдельный файл.

С сайта NextGIS (<https://nextgis.ru>) скачивается набор данных OSM. Набор данных представлен в виде файла формата «csv» – таблицы с набором точек, принадлежащих вершинам полигонов (многоугольников). Для каждого из полигонов обозначен один из типов землепользования и другие атрибуты.

Координаты узлов сетки GlobCover и набор данных OSM переводятся в текстовый формат. Дальнейшая обработка входных данных производится по программе, написанной на языке «Python».

Формируются две базы данных: GlobCover с координатами полного набора узлов домена со значениями землепользования и вторая база с координатами полигонов OSM и их типами. База данных OSM включает описание 33 типов полигонов (таблица).

Визуализация полей данных OSM с двумя типами полигонов «жилые угодья» и «промышленные зоны» и сравнение их с данными кадастра GlobCover (рис. 2) позволили в первом приближении установить, что часть территории Нижнего Новгорода, описанная в базе OSM как территории, потенциально содержащие антропогенные выбросы, в базе GlobCover не отмечены как городская территория.

После анализа 33 типов землепользования OSM отобрано 14 типов (таблица, выделено полужирным шрифтом), наиболее соответствующих «городским», а именно территории, потенциально содержащие антропогенные выбросы: жилые угодья, наделы, промышленные зоны, коммерческие территории, гаражи, строительство, железная дорога, военные территории, карьер, добыча торфа, свалка, депо, логистика. После анализа вклада каждого из типов полигонов установлено, что для города наибольший вклад по охвату неописанных как городские территории в базовом кадастре имеют два типа полигонов – жилые угодья и промышленные зоны (рис. 2а, б). Именно эти типы полигонов и выбраны для уточнения базы GlobCover.

Таблица. Типы землепользования базы геоинформационных данных OpenStreetMap

Table. Land use types of the OpenStreetMap geoinformational database

№	Название полигона	№	Название полигона
1	Жилые угодья	18	Тепличное растениеводство
2	Наделы	19	Добыча торфа
3	Промышленные зоны	20	Свалка
4	Луга	21	Зона отдыха
5	Сельхоз угодья	22	Поля
6	Трава	23	Депозит
7	Коммерческие территории	24	Животноводство
8	Гаражи	25	Заброшенные территории
9	Строительство	26	«Религиозные» территории
10	Кладбище	27	Клумба
11	Железная дорога	28	Церковные территории
12	Розничная торговля	29	Лесозаготовки
13	Бассейн	30	Ферма
14	Резервуар	31	Аквакультура
15	Военные территории	32	Логистика
16	Карьер	33	Каток
17	Питомники растений		

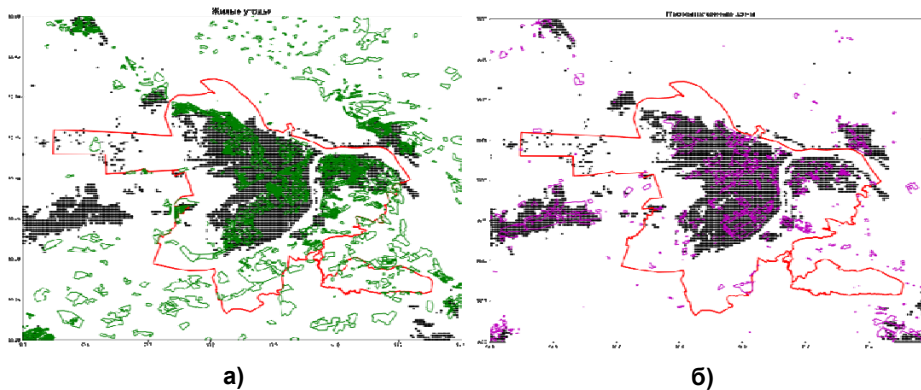


Рис. 2. Пространственное распределение полигонов отдельных типов землепользования базы OpenStreetMap и «городских» узлов базы GlobCover (черные точки): жилые угодья (а); промышленные зоны (б).

Fig. 2. Spatial distribution of individual land use types polygons in the OpenStreetMap base and "urban" cells of the GlobCover base (black dots): residential areas (a); industrial zones (б).

Затем проводится уточнение данных кадастра GlobCover, проверка каждого узла на попадание в отобранные «городские» полигоны OSM. Способ определения принадлежности каждого узла «городскому» полигону основан на методе трассировки луча, применяемом в вычислительной геометрии. После проверки результаты отработки алгоритма уточнения данных кадастра GlobCover верифицируются визуально с использованием библиотеки Python «Matplotlib». При удовлетворительной отработке алгоритма список узлов, попавших в «городские» полигоны, добавляется к исходному набору узлов GlobCover; обновленный список узлов сохраняется в виде текстового файла.

По сохраненному списку на последнем этапе технологии обновляется оригинальный кадастр GlobCover с использованием «NetCDF функций».

Обсуждение результатов эксперимента

Результаты проведенного эксперимента по уточнению данных о землепользовании кадастра GlobCover представлены на рис. 3. Количество городских узлов сетки для заданного домена увеличилось с 5038 до коррекции до 8142 после.

На основании скорректированного кадастра данных о землепользовании GlobCover был произведен перерасчет годовых эмиссий ЕМЕР на расчетную модельную сетку 2 км. На рис. 3 приводится обновленное поле «городских» ячеек кадастра GlobCover и поле эмиссий CO, рассчитанное на основании уточненного кадастра.

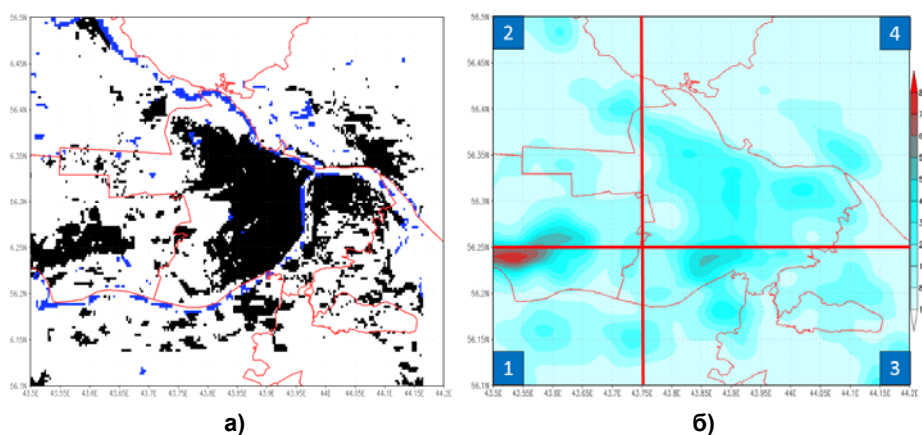


Рис. 3. Поле «городских» ячеек обновленного кадастра GlobCover 300×300 м (а); эмиссий CO для территорий г. Нижний Новгород на сетке 2,4×2,2 км (г/ч, цифрами обозначены ячейки кадастра ЕМЕР, охватывающие территорию Нижнего Новгорода) (б).

Fig. 3. Field of "urban" 300 × 300 m cells of the updated GlobCover inventory (a); CO emissions for the territories of Nizhny Novgorod on a 2.4×2.2 km grid (g/h, numbers indicate cells of the EMEP inventory covering the territory of Nizhny Novgorod) (b).

При сравнении полей эмиссий до и после их уточнения (рис. 1б, 3б) видно, что поле эмиссий, рассчитанное после уточнения данных о землепользовании, имеет более сглаженный вид, а территорий, определенных как урбанизированные, в черте города стало больше (рис. 1а, 3а). Заметно сглаживание выраженного максимума эмиссий в южной части города. Это связано с тем, что для территорий, которые охватывают ячейки ЕМЕР (на рис. 3б границы базовых ячеек ЕМЕР $0,5 \times 0,5^\circ$ показаны красной линией и пронумерованы), в которых заложены выбросы для территории Нижнего Новгорода, был повышен процент «городских» ячеек, на которые распределяется большая часть объемов выбросов основных загрязнителей. Процент «городских» узлов до коррекции в первой ячейке ЕМЕР – 2,26 %, после – 3,12 %; во второй ячейке до – 4,71 %, после – 5,3 %; в третьей ячейке до – 2,16 %, после – 5,53 %; в четвертой ячейке до – 9,89 %, после – 12,24 %. Также можно заметить, что в западной части экспериментального домена (г. Дзержинск) максимум объемов выбросов практически не изменился, что объясняется небольшим повышением доли «городских» узлов в первой ячейке кадастра ЕМЕР.

Экспериментальные расчеты ХТМ CHIMERE с начальным и уточненным полем эмиссий (рис. 4) позволяют сделать вывод о том, что несмотря на незначительное изменение поля землепользования (в условной ячейке 4 ЕМЕР, куда попадает основная часть Нижнего Новгорода, «городских» узлов стало больше на 2,35 %) расчетные поля концентраций на сетке 2 км оказались к этим изменениям чувствительны. Это показано на примере расчетных полей концентраций NO_2 (рис. 4а, б). В то же время экспериментальные расчеты на сетке 11 км (рис. 4в, г) показали малую чувствительность полей концентраций на изменение поля эмиссий. Схожие результаты получены и для других основных загрязняющих веществ (CO , PM_{10}).

Выводы

Открытый доступ к зарубежным базам эмиссий позволяет использовать их для расчетов ХТМ на территории России, сравнивать кадастровые данные с официальной статистикой, уточнять и адаптировать существующие данные.

На примере нижегородского региона отработана и описана технология уточнения землепользования GlobCover с использованием геоинформационных данных OpenStreetMap. За счет предложенной коррекции распределения «городских» узлов кадастра GlobCover увеличена доля городских территорий на 0,6–3,3 %. Благодаря уточнению поля типов землепользования, изменилось и приблизилось к реальному расположению источников выбросов в атмосферу начальное поле эмиссий на модельной сетке 2×2 км. Экспериментальные расчеты концентраций загрязняющих веществ в нижегородском регионе с помощью химической

транспортной модели CHIMERE с начальными и уточненными полями эмиссий показали эффективность примененного подхода.

Работа выполнена в рамках исследований по плану ЦНТП Росгидромета НИТР 4.7.2.

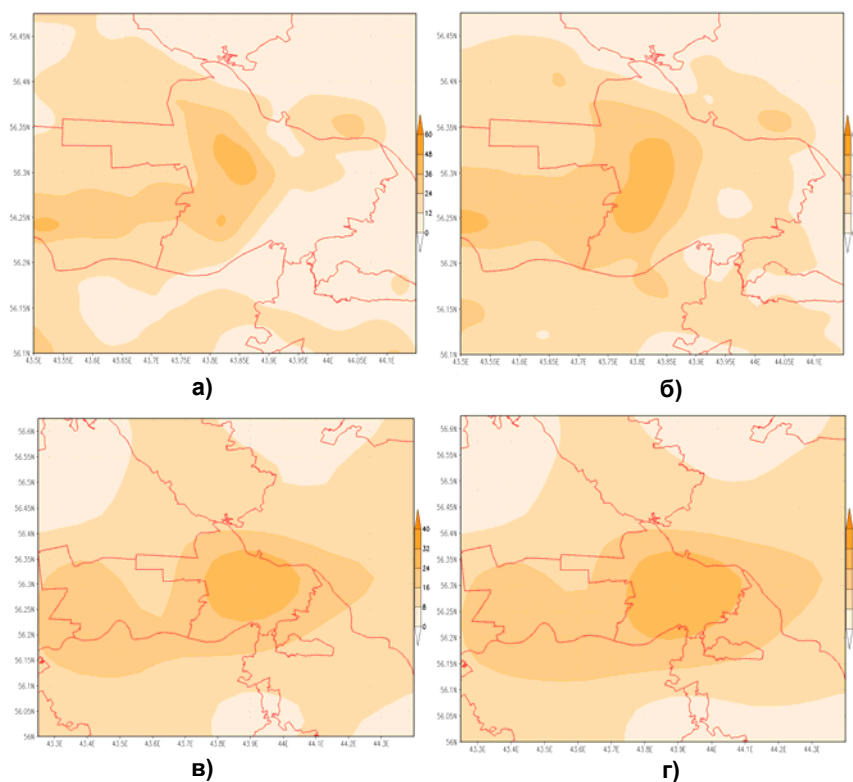


Рис. 4. Рассчитанное XTM CHIMERE поле концентраций NO_2 ($\mu\text{г}/\text{м}^3$) до (а) и после (б) уточнения землепользования, расчетная сетка XTM 2 км; до (в) и после (г) уточнения, расчетная сетка XTM 11 км, г. Нижний Новгород 21 ч. 25.06.2021.

Fig. 4. The field of NO_2 concentrations calculated by the CTM CHIMERE ($\mu\text{g} / \text{m}^3$) before (a) and after (б) land use data clarification; before (в) and after (г) land use data clarification, 11 km CTM grid, Nizhny Novgorod 9 p.m. 06.25.2021.

Список литературы

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennyye_doklady/.

2. 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., Варенцов М.И., Захарченко Д.И., Копейкин В.В., Никитин М.А., Полохов А.А., Ревокатова А.П.,

Татариневич Е.В., Чурюлин Е.В. Система краткосрочного численного прогноза высокой детализации COSMO-Ru, ее развитие и приложения // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2019. № 4 (374). С. 27-53.

3. Самсонов Т.Е., Варенцов М.И. Определение параметров городской среды Московского мегаполиса для детализированного численного прогноза погоды в рамках модели COSMO // Метеорология и гидрология. 2020. № 7. С. 112-119.

4. Шалыгина И.Ю., Кузнецова И.Н., Нахаев М.И., Борисов Д.В., Лезина Е.А. Эффективность коррекции эмиссий для расчетов химической транспортной модели CHIMERE в московском регионе // Оптика атмосферы и океана. 2020. Т. 33, № 6. С. 441-447.

5. Bicheron P, Amberg V, Bourg Ludovic, Petit David, Huc M, Miras B, Brockmann Carsten, Steven Delwart, Ranéra F, Hagolle Olivier, Leroy Marc, Arino O. Geolocation assessment of 300m resolution MERIS GLOB-COVER ortho-rectified products // In Proceedings of MERIS/AATSR Colloque, Frascati. 2008.

6. Alexey Gusev, Victor Shatalov, Olga Rozovskaya, Nadejda Vulykh, Wenche Aas, Knut Breivik, Florian Couvidat, Marta Garcia Vivanco. Assessment of POP pollution in EMEP region: current progress and further activities. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2018/Air/EMEP/EMEP_MSC-E_POPs.pdf

7. Ali Jamali. Improving land use land cover mapping of a neural network with three optimizers of multi-verse optimizer, genetic algorithm, and derivative-free function // The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences. 2020.

8. Ameer K. Thakkar, Venkappayya R. Desai, Ajay Patel, Madhukar B. Potdar. Post-classification corrections in improving the classification of Land Use/Land Cover of arid region using RS and GIS: The case of Arjuni watershed, Gujarat, India // The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences. 2017. Vol. 20 (1). P. 79-89.

9. Hansen M.C., Reed B. A comparison of the igbp discover and university of maryland 1 km global land cover products // Int. J. Remote Sens. 2000. Vol. 21. P. 1365-1373.

10. Konstantin Rosina, Filipe Batista e Silva, Pilar Vizcaino, Mario Marín Herrera, Sérgio Freire & Marcello Schiavina. Increasing the detail of European land use/cover data by combining heterogeneous data sets // International Journal of Digital Earth. 2018.

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

12. Manakos I., Braun M. Land Use and Land Cover Mapping in Europe: Practices & Trends. Springer, Dordrecht, The Netherlands, 2014, 441 p. Available at: <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7969-3>.

13. 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.

14. Valeria Garbero, Massimo Milelli, Edoardo Bucchignani, Paola Mercogliano, Mikhail Varentsov, Inna Rozinkina, Gdaliy Rivin, Denis Blinov, Hendrik Wouters, Jan-Peter Schulz, Ulrich Schättler, Francesca Bassani, Matthias Demuzere, Francesco Repola. Evaluating the Urban Canopy Scheme TERRA_URB in the COSMO Model for Selected European Cities // Atmosphere. 2021. Vol. 12, no. 2. P. 237.

References

1. Gosudarstvennyj doklad O sostoyanii i ob ohrane okruzhayushchej sredy Rossijskoj federacii. [Electronic resource]. Available at: http://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennyye_doklady/. [in Russ.].
2. Rivin G.S., Rozinkina I.A., Astakhova E.D., Blinov D.V., Bundel' A.Yu., Kirsanov A.A., Shatunova M.V., Chubarova N.Ye., Alferov D.Yu., Varentsov M.I., Zakharchenko D.I., Kopeykin V.V., Nikitin M.A., Poliukhov A.A., Revokatova A.P., Tatarinovich E.V., Churiulin E.V. COSMO-Ru high-resolution short-range numerical weather prediction system: its development and applications. *Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy* [Hydrometeorological Research and Forecasting], 2019, vol. 374, no. 4, pp. 27-53 [in Russ.].
3. Samsonov T.E., Varencov M.I. Determination of the parameters of the urban environment of the Moscow metropolis for a detailed numerical weather COSMO model forecast. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2020, vol. 45, no. 7, pp. 112-119.
4. Shalygina I.Y., Kuznetsova I.N., Nahaev M.I., Borisov D.V., Lezina E.A. Emission correction efficiency for calculations in the CHIMERE chemical transport model in the Moscow region. *Optika Atmosfery i Okeana* [Atmospheric and Oceanic Optics], 2020, vol. 33, no. 6, pp. 441-447 [in Russ.].
5. Bicheron P, Amberg V, Bourg Ludovic, Petit David, Huc M, Miras B, Brockmann Carsten, Steven Delwart, Ranéra F, Hagolle Olivier, Leroy Marc, Arino O. Geolocation assessment of 300m resolution MERIS GLOB-COVER ortho-rectified products // In Proceedings of MERIS/AATSR Colloque, Frascati. 2008.
6. Alexey Gusev, Victor Shatalov, Olga Rozovskaya, Nadejda Vulykh, Wenche Aas, Knut Breivik, Florian Couvidat, Marta Garcia Vivanco. Assessment of POP pollution in EMEP region: current progress and further activities. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2018/Air/EMEP/EMEP_MSC-E_POPs.pdf
7. Ali Jamali. Improving land use land cover mapping of a neural network with three optimizers of multi-verse optimizer, genetic algorithm, and derivative-free function // The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, 2020.
8. Ameer K. Thakkar, Venkappayya R. Desai, Ajay Patel, Madhukar B. Potdar. Post-classification corrections in improving the classification of Land Use/Land Cover of arid region using RS and GIS: The case of Arjuni watershed, Gujarat, India // The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences. 2017. Vol. 20 (1). P. 79-89.
9. Hansen M.C., Reed B. A comparison of the igbp discover and university of maryland 1 km global land cover products. *Int. J. Remote Sens.*, 2000, vol. 21, pp. 1365-1373. doi: 10.1080/014311600210218
10. Konstantin Rosina, Filipe Batista e Silva, Pilar Vizcaino, Mario Marín Herrera, Sérgio Freire & Marcello Schiavina. Increasing the detail of European land use/cover data by combining heterogeneous data sets // International Journal of Digital Earth. 2018.
11. Kukkonen J., Olsson T., Schultz D.M.. et al. A review of operational, regional-scale, chemical weather forecasting models in Europe. *Atmos. Chem. Phys.* 2012, vol. 12, pp. 1-87.
12. Manakos I., Braun M. Land Use and Land Cover Mapping in Europe: Practices & Trends. Springer, Dordrecht, The Netherlands, 2014, 441 p. Available at: <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7969>.

13. 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.

14. Valeria Garbero, Massimo Milelli, Edoardo Bucchignani, Paola Mercogliano, Mikhail Varentsov, Inna Rozinkina, Gdaliy Rivin, Denis Blinov, Hendrik Wouters, Jan-Peter Schulz, Ulrich Schättler, Francesca Bassani, Matthias Demuzere, Francesco Repola. Evaluating the Urban Canopy Scheme TERRA_URB in the COSMO Model for Selected European Cities. *Atmosphere*, 2021, vol. 12, no. 2, pp. 237, <https://doi.org/10.3390/atmos12020237>

*Поступила 25.08.2021; одобрена после рецензирования 14.09.2021;
принята в печать 28.09.2021.
Submitted 25.08.2021; approved after reviewing 14.09.2021;
accepted for publication 28.09.2021.*