

Валидация баз данных CAMS и трехмерного моделирования WRF-Chem содержания CO₂ вблизи Санкт-Петербурга

Неробелов Г.М.¹, Тимофеев Ю.М.¹, Смышляев С.П.², Виролайнен Я.А.¹,
Макарова М.В.¹, Фока С.Ч.¹

¹- Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия,
akulishe95@mail.ru

²-Российский государственный гидрометеорологический университет,
Санкт-Петербург, Россия

Аннотация: В исследовании проводилась валидация данных о содержании CO₂ на территории мегаполиса Санкт-Петербурга (Россия) по результатам численного моделирования (база данных CAMS, модель WRF-Chem) при помощи измерений (локальных и дистанционных).

Ключевые слова: парниковые газы, содержание CO₂, CAMS, WRF-Chem, моделирование переноса CO₂, локальные и дистанционные измерения

Климат Земли постепенно изменяется под воздействием парниковых газов антропогенного происхождения, влияние которых увеличивается от года к году. Это обстоятельство, а также обязательства контроля исполнения международных договоров о снижении антропогенных эмиссий побуждают исследователей создавать и совершенствовать способы мониторинга выбросов подобных газов с территорий мегаполисов на основе локальных и дистанционных наблюдений [1, 2, 3]. Так как задача по определению эмиссий из данных наблюдений является некорректной обратной, она требует априорной информации об исследуемых газах. Источником такой информации могут служить результаты численного моделирования вариации парниковых газов в атмосфере. Важной задачей является валидация подобных результатов, путем сравнения с данными наблюдений. В данном исследовании проводится сопоставление результатов численных экспериментов продукта CAMS (Copernicus Atmosphere Monitoring Service) (2018 год) [4] и модели WRF-Chem (март и апрель 2019 года) с результатами локальных и дистанционных наблюдений в районе мегаполиса Санкт-Петербурга (Россия).

В качестве данных локальных наблюдений использовались измерения приземного содержания CO₂ газоанализатором на станции г. Петергофа. В качестве дистанционных наблюдений использовались результаты наземных измерений в г. Петергофе, полученные при помощи инфракрасного Фурье-спектрометра Bruker 125HR, а также данные спутникового зондирования OCO-2 вблизи г. Санкт-Петербурга. Данные CAMS и WRF-Chem представлены в виде пространственно-временного распределения концентрации CO₂ на разных вертикальных уровнях, а также средней концентрации по атмосферному столбу (XCO₂). Однако, результаты CAMS получены на основе численного моделирования с помощью глобальной модели атмосферного переноса LMDz, тогда как WRF-Chem является региональной моделью и была запущена с более высоким пространственным разрешением (3x3 км² и около 200x400 км², соответственно).

Анализ показал, что средние отличия между данными CAMS и результатами локальных измерений значительно варьировались в зависимости от месяца (более 3% в декабре и от 0 до 2% в остальные месяцы 2018 года). Наибольшее среднеквадратическое отклонение (СКО) наблюдалось в мае, июле, сентябре и декабре (до 4-5%), тогда как наименьшее – в январе и феврале (около 2%). Коэффициент корреляции тренда изменения также значительно менялся в течение года, с максимумом в ноябре (0.81±0.08) и минимумом в апреле (0.26±0.14). Сопоставление общих содержаний XCO₂ выявило значительное сходство между результатами CAMS и данными дистанционного измерения (среднее отличие около 0.1%). Коэффициенты корреляции оказались относительно высокими и составили 0.81±0.09 для наземных и 0.96±0.17 для спутниковых наблюдений.

Сравнительный анализ результатов WRF-Chem с данными локальных наблюдений показал, что в среднем модельная концентрация CO₂ отличается от измеренной менее, чем на 1%. СКО

находится в диапазоне 1-2%. Коэффициент корреляции оказался больше 0.7 для обоих месяцев измерений ЕММЕ [2]. Сопоставление с данными дистанционных измерений показало, что результаты моделирования в большинстве случаев больше измерений в среднем на 0.4-2.5 %, а коэффициент корреляции варьировался от 0.2 до 0.5 для наземных и от 0.6 до 0.7 для спутниковых наблюдений. По данным WRF-Chem, вклад Санкт-Петербурга в общее содержание CO₂ в атмосферном столбе имеет схожие значения и тот же знак, что и измеренные значения [2] в 5 из 8 дней.

Анализ показал, что, хотя в отдельные периоды наблюдались существенные отличия, в целом, данные наблюдений и результаты продукта CAMS находятся в хорошем соответствии (в особенности для среднего отношения смеси CO₂), тогда как результаты WRF-Chem демонстрируют неплохое соответствие с локальными измерениями и худшее соответствие с результатами дистанционных наблюдений. Следовательно, исследуемые результаты CAMS могут быть использованы в качестве априорных данных при определении антропогенных выбросов CO₂ с территории мегаполиса Санкт-Петербурга. Для использования результатов WRF-Chem в качестве априорной информации требуется исследование, которое позволит улучшить соответствие данных численного эксперимента и измерений.

Литература

1. Тимофеев Ю.М., Неробелов Г. М., Виролайн Я. А., Поберовский А. В., Фока С. Ч., Оценки антропогенных эмиссий CO₂ мегаполиса Санкт-Петербурга, Доклады российской академии наук: Науки о Земле, т. 494, №1, в печати, 2020, С. 93-96
2. Makarova M.V., Hase F., Ionov D.V., et al. Emission Monitoring Mobile Experiment (EMME): An Over-view and First Results of the St. Petersburg Megacity Campaign-2019 // Atmos. Meas. Tech., на обсуждении, <https://doi.org/10.5194/amt-2020-87>
3. Тимофеев Ю.М., Березин И. А., Виролайн Я. А. и др. Оценки антропогенных эмиссий CO₂ для Москвы и Санкт-Петербурга по данным спутниковых измерений OCO-2. // Оптика атмосферы и океана. 2020. Т. 33. № 4. С. 261–265
4. Неробелов Г.М., Тимофеев Ю.М., Смышляев С.П., Виролайн Я.А., Макарова М.В., Фока С.Ч. Сопоставление баз данных содержания CO₂ CAMS и измерений в Петергофе. // Оптика атмосферы и океана, принято в печать, 2020

Validation of CAMS database and WRF-Chem 3D modelling of CO₂ content near Saint-Petersburg

**Nerobelov G.M.¹, Timofeev Yu.M.¹, Smyshlyaev S.P.², Virolainen Ya.A.¹,
Makarova M.V.¹, Foka S.C.¹**

¹– Saint-Petersburg state university, Saint-Petersburg, Russia, akulishe95@mail.ru

²– Russian state hydrometeorological university, Saint-Petersburg, Russia

Abstract: The validation of the data of CO₂ content on the territory of Saint-Petersburg metropolis (Russia) according to the results of numerical modelling (CAMS database, WRF-Chem model) was carried out in current study using measurements (local and remote).

Key words: greenhouse gases, CO₂ content, CAMS, WRF-Chem, modeling of CO₂ transport, local and remote measurements.