

# XIX.D.312

## **Сравнение содержания монооксида углерода в атмосфере по наземным и спутниковым измерениям**

*Трифонова-Яковлева А. М. (1,2),  
Чеснокова Т.Ю. (2), Ченцов А.В. (2),  
Захаров В.И. (3), Рокотян Н.В. (3)*

(1) Институт географии РАН, Москва, Россия

(2) Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО  
РАН, Томск, Россия

(3) Уральский федеральный университет,  
Екатеринбург, Россия

# Аннотация

Мониторинг содержания CO в атмосфере осуществляется различными сетями наземных измерений, а также определяется по спутниковым данным. Монооксид углерода поступает в атмосферу в результате процессов горения и является токсичным газом. В настоящей работе проведено сравнение вертикальных профилей и общего содержания CO, восстановленных по наземным измерениям спектров прямого солнечного излучения в обсерватории в Коуровке в 2015 году [1] и по измерениям прибора MORITT спутника Terra [2]. Восстановление по данным наземных измерений осуществлялось с помощью программы SFIT4 [3]. При сравнении использовались пространственный и временной критерии совпадения.

Было проведено сравнение общего содержания CO, где восстановление по наземным измерениям проводилось с использованием различных спектроскопических баз данных (GEISA2015, GEISA 2020, ATM, HITRAN2008, HITRAN2016) [4]. Показано, что сезонный ход по наземным и спутниковым измерениям имеют схожий характер. В целом, общее содержание CO по данным MORITT несколько выше, чем по наземным измерениям.

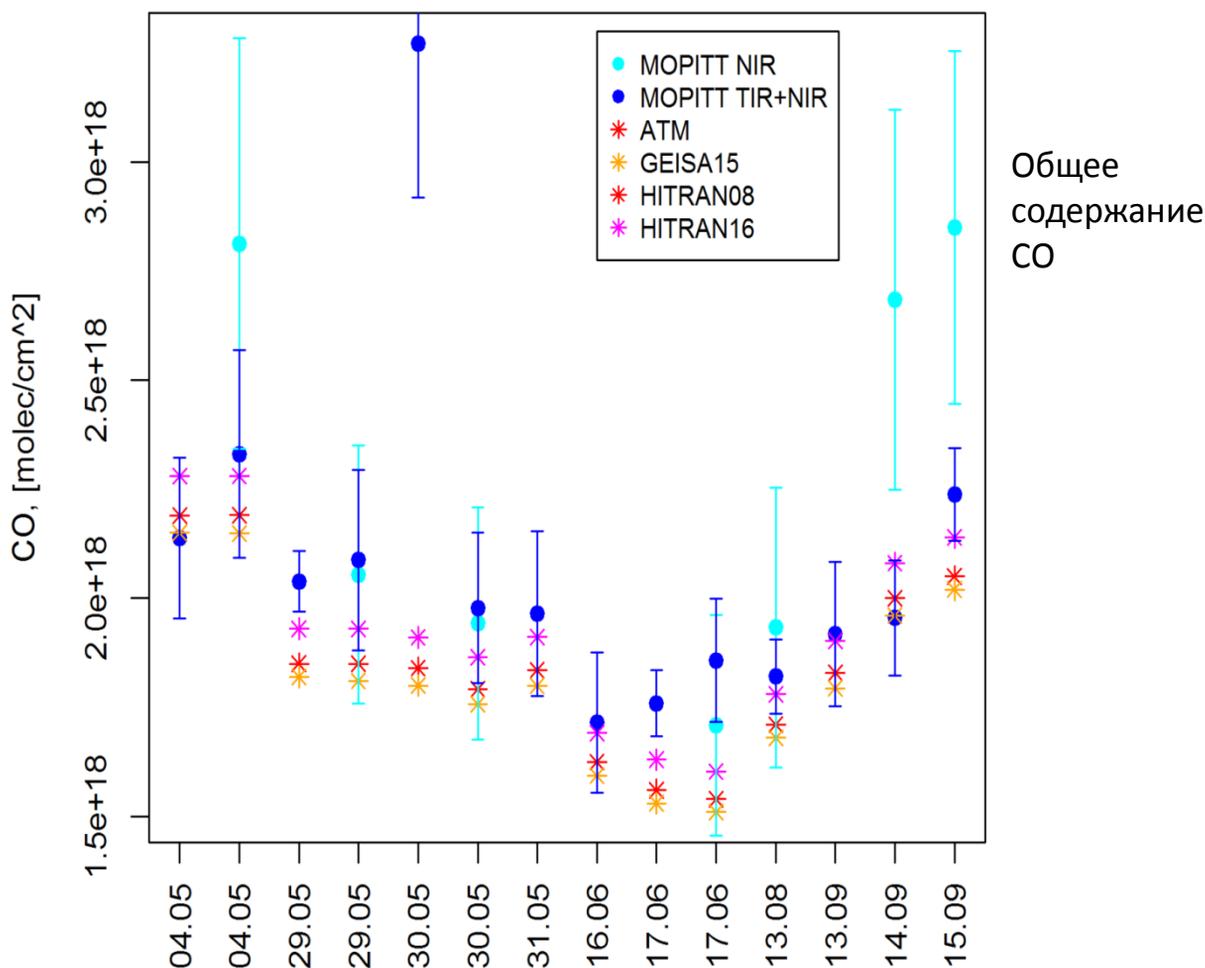
Также было проведено сравнение вертикальных профилей с применением соответствующих ядер осреднения. Восстановление по данным наземных измерений проводилось для двух априорных профилей CO – AFGL и комбинированного профиля MORITT и AFGL [5], что было сделано с целью оценить влияние априорного профиля на восстановленный профиль CO. Восстановленные по наземным измерениям профили с использованием комбинированного априорного профиля находятся в лучшем согласии с профилем MORITT. Чувствительность наземных измерений к содержанию CO у поверхности Земли выше, чем у измерений со спутника. Для высот от 5 до 10 км несколько большая чувствительность спутниковых измерений к содержанию CO может быть связана с тем, что при восстановлении использовалось два спектральных канала 2,3 и 4,7 мкм, тогда как восстановление по наземным измерениям проводилось только в полосе поглощения CO 2,3 мкм.

## Данные наземных и спутниковых измерений

- Прибором МОРИТТ (Measurements of Pollution in the Troposphere), установленным на спутнике Terra и предназначенным для мониторинга загрязнения нижней части атмосферы, с 1999 года осуществляются надирные измерения в инфракрасном диапазоне 4.7 мкм и 2.2-2.4 мкм. Пространственное разрешение прибора в горизонтальной плоскости составляет 22 км.
- Наземные измерения прямых солнечных спектров проводились на Уральской атмосферной станции, расположенной на территории Коуровской астрономической обсерватории Уральского федерального университета, г. Екатеринбург (57,038° с.ш., 59,545° в.д.) [2], на наземном Фурье-спектрометре Bruker IFS 125M, сопряженным с солнечным трекером Bruker A547. Моделирование спектров и определение общего содержания и вертикальных профилей монооксида углерода в атмосфере осуществлялись при помощи SFIT4 [3]. Для определения содержания СО использовались три спектральных интервала (4235,7–4236,2; 4274,5–4275,0 и 4281,3–4281,9 см<sup>-1</sup>). При моделировании атмосферного радиационного переноса учитывались поглощающие газы H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CO, O<sub>3</sub>, O<sub>2</sub> и спектр излучения солнца.
- Восстановление профиля СО по данным наземных измерений осуществлялось на 47 высотных уровнях от поверхности земли до высоты 106 км.

## Результаты сравнения общего содержания CO по наземным и спутниковым данным.

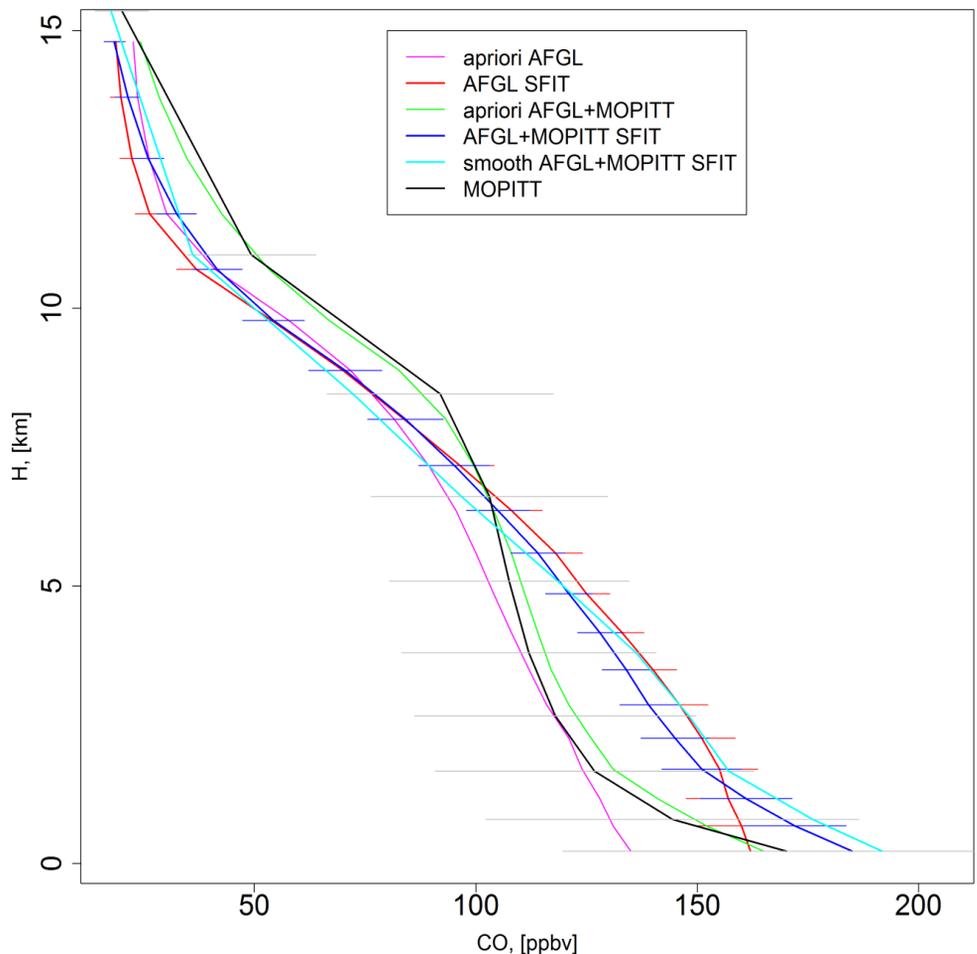
- На рисунке представлено сравнение общего содержания CO в столбе атмосферы по данным наземных и спутниковых измерений.
- Для восстановления общего содержания CO по данным наземных измерений, были использованы параметры из различных спектроскопических баз данных (GEISA2015, ATM, HITRAN2008, HITRAN2016). Общее содержание монооксида углерода по данным MOPITT было взято как для объединенного продукта, использующего тепловой и ближний ИК участки спектра (MOPITT TIR+NIR), так и для продукта, в котором использовался только ближний ИК-участок (MOPITT NIR) (что соответствует участку спектра наземных измерений). Наблюдается хорошее соответствие между наземными и спутниковыми измерениями MOPITT TIR+NIR, за исключением утреннего измерения 30 мая. Имеет место выраженный сезонный ход, как по наземным, так и по спутниковым измерениям. В целом, общее содержание CO по спутниковым данным немного выше, чем по наземным измерениям. Погрешность MOPITT NIR больше, чем для объединенного продукта, и соответствие наземным данным значительно хуже, однако сезонный ход отражается верно.



## Результаты сравнения высотных профилей CO по наземным и спутниковым данным.

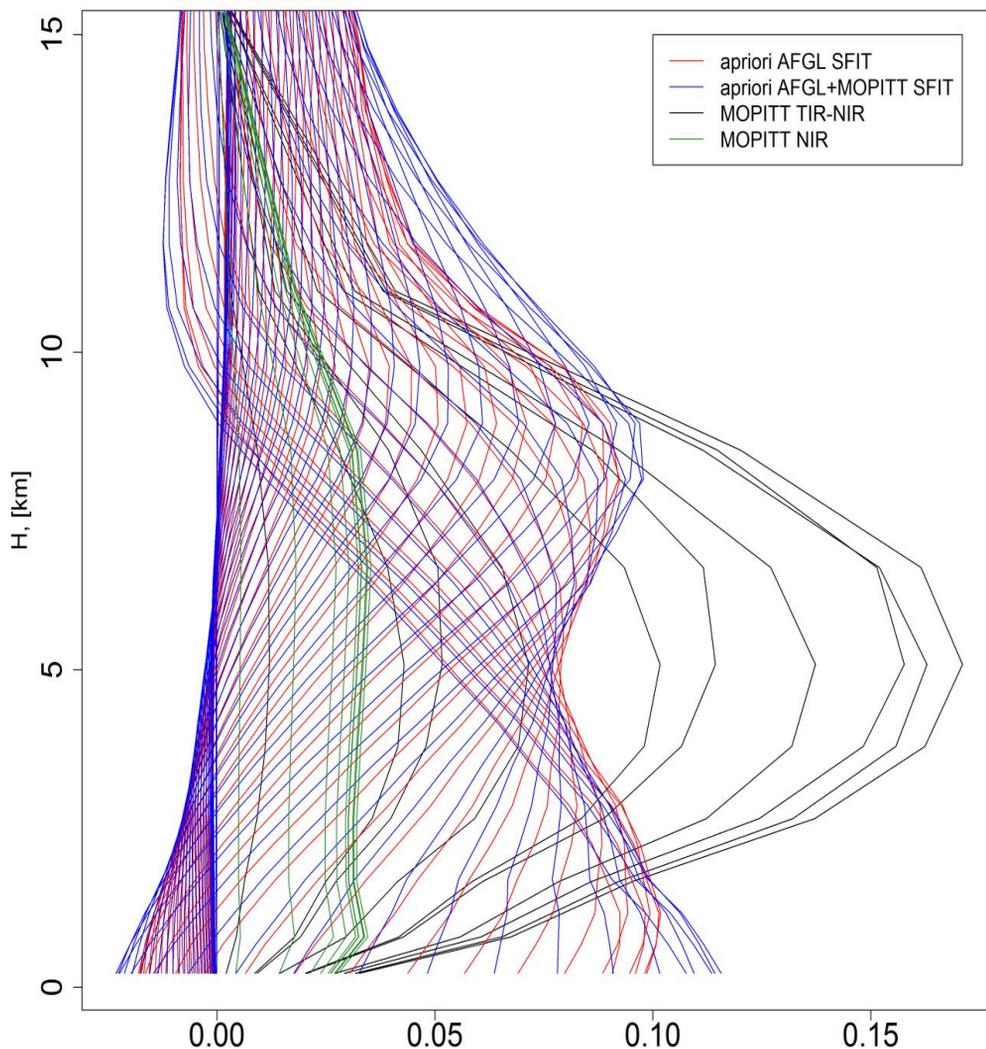
Сравнение высотных профилей содержания CO по наземным и спутниковым данным было проведено для 05.04.2015, утренний проход спутника TERRA.

На рисунке представлено сравнение профилей, восстановленных по данным наземных и спутниковых измерений от поверхности земли до высоты 15 км для 05.04.2015. Восстановление по данным наземных измерений проводилось со спектроскопическими параметрами HITRAN2016 для двух априорных профилей – AFGL и комбинированного профиля MOPITT и AFGL. Восстановленные по наземным измерениям профили с использованием комбинированного априорного профиля находятся в лучшем согласии с профилем MOPITT. При расчете погрешностей восстановления по наземным измерениям, априорная изменчивость CO была взята из данных продукта MOPITT. Ошибки по данным наземных измерений меньше, чем ошибки по спутниковым данным. Оба профиля, восстановленные по наземным измерениям, находятся внутри разброса ошибок. Профиль MOPITT выходит за этот разброс. Однако профиль MOPITT с учетом ошибок включает в себя профили, восстановленные по наземным измерениям. Также на рис. 3 представлен профиль, восстановленный по наземным измерениям, к которому было применено сглаживание с помощью матрицы ядер осреднения MOPITT.



Для оценки влияния вклада априорного профиля в восстановленный профиль, были рассмотрены ядра осреднения (averaging kernels, АК), представленные на рисунке 4. Чувствительность профиля MOPITT TIR+NIR к содержанию у поверхности невелика и достигает максимум на высоте около 5 км. Чувствительность продукта MOPITT NIR меньше, чем совместного продукта, то есть восстановленный профиль в большей степени обусловлен априорной информацией.

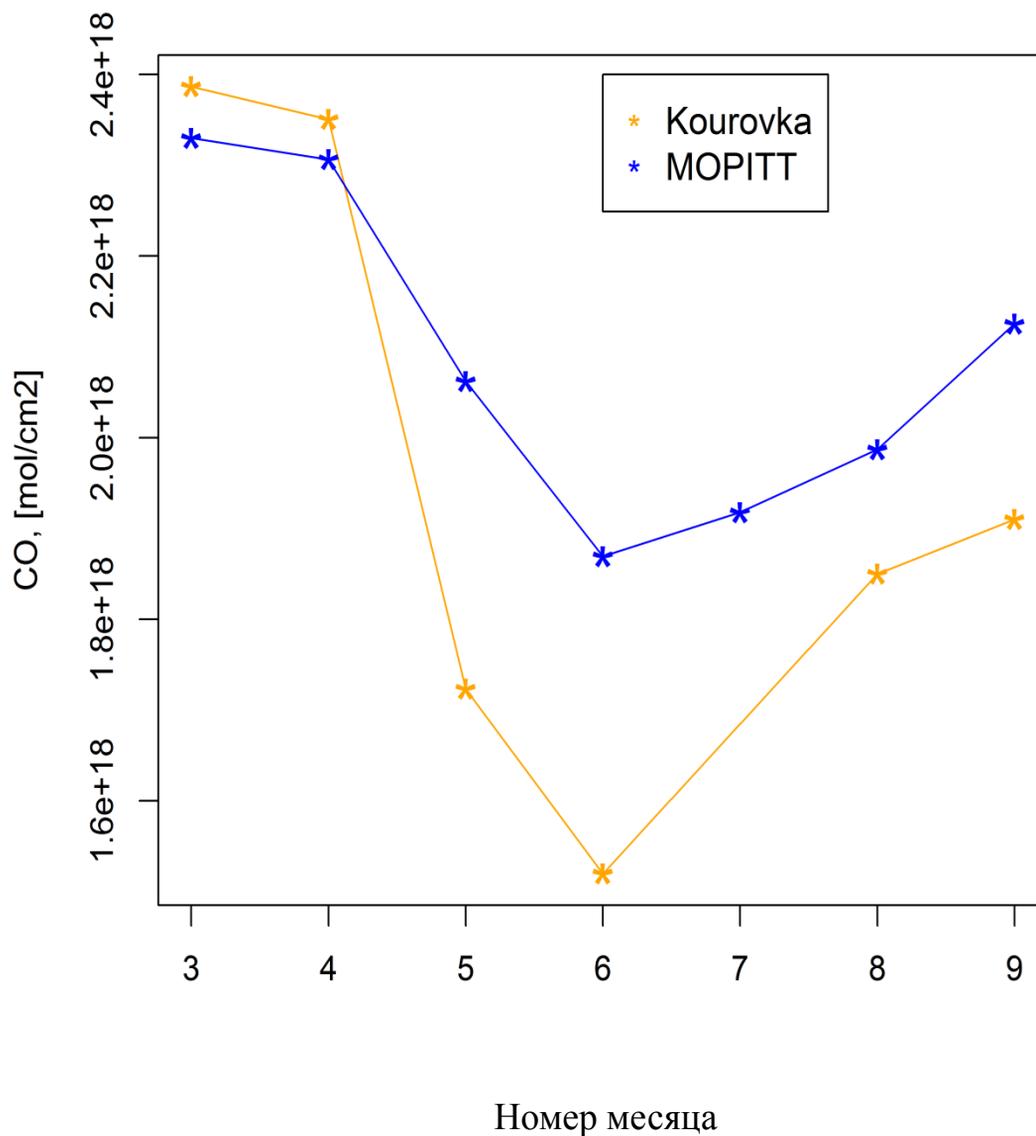
Чувствительность наземных измерений к содержанию CO у поверхности земли выше, чем у измерений со спутника. Для высот от 5 до 10 км несколько большая чувствительность спутниковых измерений к содержанию CO может быть связана с тем, что при восстановлении в этом случае использовалось два спектральных канала, тогда как для восстановления по наземным измерениям проводились с использованием одного спектрального канала.



## Сравнение среднемесячных значений

На рисунке представлено сравнение среднемесячных значений содержания CO в столбе атмосферы, полученных по наземным измерениям и по данным прибора МОРІТТ, осредненным в квадрате со стороной 1° вокруг станции Коуровка.

Из рисунка видно, что оба типа измерений отражают сезонный ход общего содержания монооксида углерода в столбе атмосферы схожим образом, с максимумом в марте (среди месяцев, в которые проводились измерения), постепенным понижением до минимума в июне, и последующим возрастанием. Однако для теплых месяцев данные прибора МОРІТТ оказываются завышенными по сравнению с наземными измерениями.





## Выводы

- При сравнении восстановленного общего содержания монооксида углерода по разовым измерениям Фурье-спектрометра и спутникового прибора МОРІТТ показано, что оба типа измерений отражают сезонный ход схожим образом. Мультиспектральный спутниковый продукт дает лучшее согласие с наземными измерениями, чем спутниковый продукт, где при восстановлении используется только ближний ИК-диапазон. В целом, данные по спутниковым измерениям оказываются завышенными по сравнению с данными наземных измерений.
- Было проведено сравнение мгновенных профилей содержания СО, восстановленных по наземным и спутниковым измерениям 05.04.2015, и соответствующих ядер осреднения. Показано, что априорный профиль влияет на восстановленный по наземным измерениям профиль. Также показано, что восстановленные с различными априорными предположениями профили по наземным измерениям находятся внутри погрешности восстановления профиля по данным прибора МОРІТТ. Анализ ядер осреднения показал, что чувствительность наземных измерений к содержанию СО у поверхности земли выше, чем у измерений со спутника.
- Сравнение среднемесячных значений общего содержания СО показало, что оба типа измерений отражают сезонный ход схожим образом, хотя данные спутниковых измерений несколько завышены по сравнению с наземными измерениями.
- При сравнении среднемесячных профилей наблюдается ряд различий между наземными и спутниковыми данными. Причиной таких различий может служить несовпадение дат, когда проводились измерения, разная форма априорных профилей и другие причины.

## Литература:

1. Griбанov K., Jouzel J., Bаstrikov V., Bonne J.-L., Breon F.-M., Butzin M., Cattani O., Masson-Delmotte V., Rokotyаn N., Werner M., and Zаkharov V. Developing a western Siberia reference site for tropospheric water vapour isotopologue observations obtained by different techniques (in situ and remote sensing)// Atmos. Chem. Phys. 2014. V.14. P.5943–5957.
2. NASA/LARC/SD/ASDC. (2000). MOPITT Derived CO (Thermal Infrared Radiances) V008 [Data set]. NASA Langley Atmospheric Science Data Center DAAC. Retrieved from [https://doi.org/10.5067/TERRA/MOPITT/MOP02T\\_L2.008](https://doi.org/10.5067/TERRA/MOPITT/MOP02T_L2.008)
3. Hase F., Hannigan J.W., Coffey M.T., Goldman A., Hopfner M., Jones N.B., Rinsland C.P., Wood S.W. Intercomparison of retrieval codes used for the analysis of high-resolution groundbased FTIR measurements // JQSRT. 2004. V. 87. P. 25–52.
4. Чеснокова Т. Ю., Макарова М. В., Ченцов А. В., Воронина Ю. В., Захаров В. И., Рокотян Н. В., Langerock B. Определение содержания монооксида углерода в атмосфере из атмосферных спектров высокого разрешения// Оптика атмосферы и океана. 2019. Т. 32. № 04. С. 257–265. DOI: 10.15372/AOO20190401.
5. G. Anderson, S. Clough, F. Kneizys, J. Chetwynd, and E. Shettle “AFGL Atmospheric Constituent Profiles (0–120 km), AFGL\_TR; 86\_0110,” Environmental research papers, no. 954 (Air Force Geophysics Laboratory). 1986