

**Анализ данных спутниковых измерений для
оценки вертикальных потоков малых газовых
составляющих**

Садовский И.Н., Пашинов Е.В., Сазонов Д.С.

Институт космических исследований РАН, Москва

E-mail: Ilya_Nik_Sad@mail.ru



**Институт Космических Исследований
Space Research Institute**

Цель работы

Провести анализ действующих систем спутникового мониторинга малых газовых составляющих в атмосфере Земли на предмет оценки возможности использования их данных для расчета элементов баланса парниковых газов для выделенных территорий. Анализ проводится в отношении: CO_2 , CH_4 , N_2O и SO_2 .

Описание подхода

Уравнение баланса

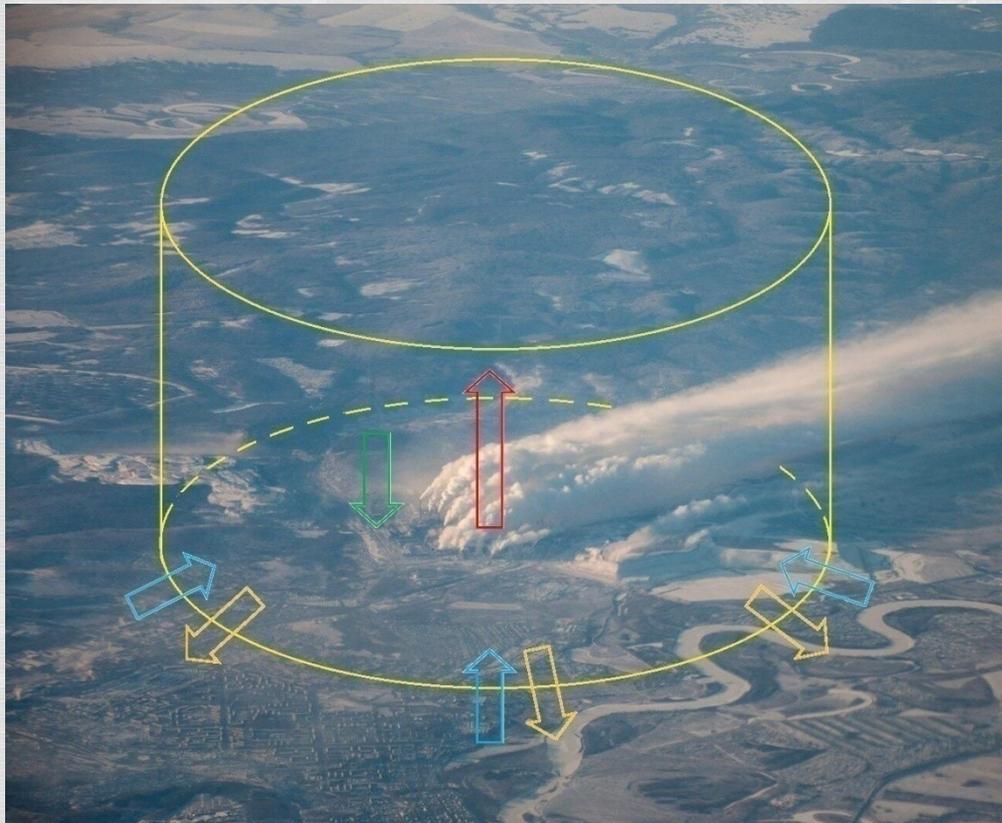
$$\int_{t_1}^{t_2} (P - E) dt = - \iint_A Q(x, y) dx dy \Big|_{t_1}^{t_2} + \int_{t_1}^{t_2} dt \oint_l \vec{F}_A(x, y) d\vec{n}$$

Интересующая разница
эмиссии и стока

Изменение
содержания внутри
объема

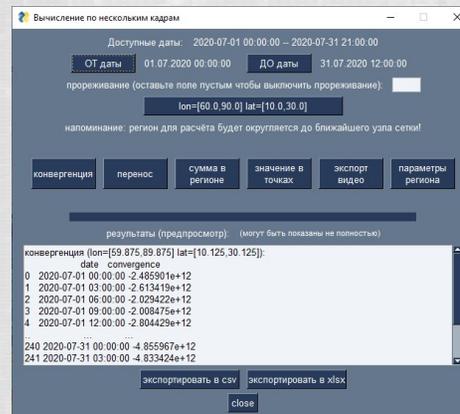
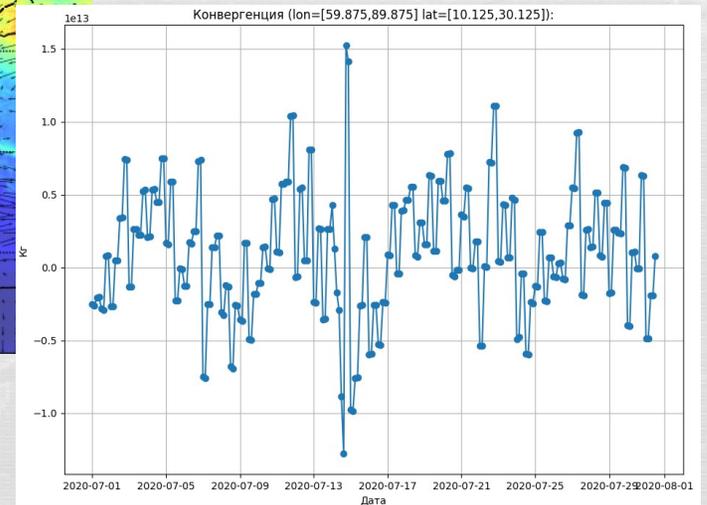
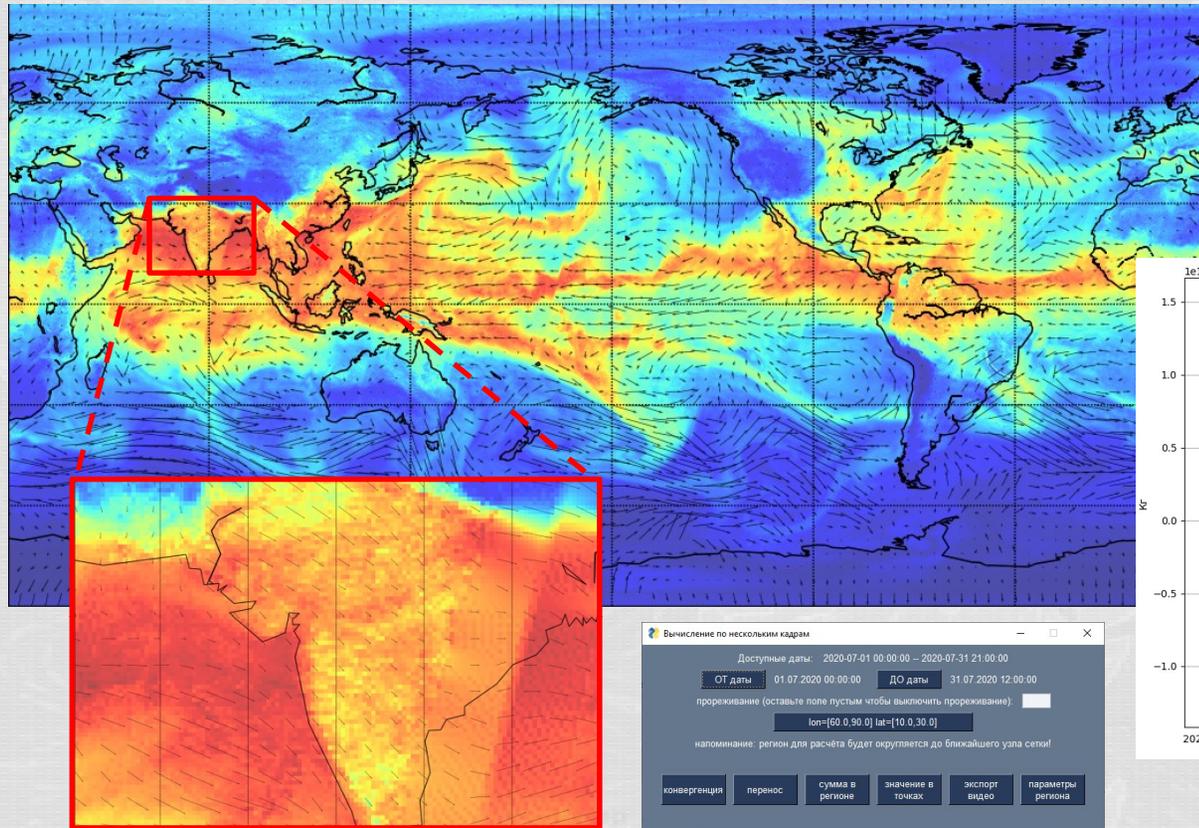
Перенос вещества
через боковые грани

Возможность определения по
спутниковым данным



Схематичное изображение компонент, входящих в уравнение баланса. Интересующая область (желтые линии) – вертикальный столб атмосферы над выделенным районом. Поток через горизонтальные стенки – желтые и синие стрелки. Эмиссия – красная стрелка, поглощение – зеленая.

Положительный опыт работы с водяным паром



Ермаков Д.М., Пашинов Е.В., Кузьмин А.В., Втюрин С.А., Чернушич А.П.
Концепция расчета элементов регионального гидрологического баланса с использованием спутникового радиотепловидения // Гидрометеорология и экология. 2023. №72. С. 470-493. DOI: 10.33933/2713-3001-2023-72-470-492.

Основные требования к входным данным

Основные требования к данным спутникового мониторинга МГС в рамках поставленной задачи определяются исходя из анализа уравнения баланса, особенностей реализации алгоритмов обработки динамических изображений, а также особенностями постановки конкретных задач (пространственное и временное разрешение):

- Возможность свободного доступа к данным.
- Максимальная площадь покрытия.
- Высокая периодичность наблюдений.
- Высокое пространственное разрешение.
- Однородность.
- Наличие оценки качества предоставляемых данных.

Анализируемые спутниковые системы мониторинга МГС

- ❑ **ACE-FTS** (*англ.* Atmospheric Chemistry Experiment Fourier Transform Spectrometer).
- ❑ **OCO-2** (*англ.* Orbiting Carbon Observatory).
- ❑ **TANSO-FTS** (*англ.* Thermal And Near infrared Sensor for carbon Observations - Fourier Transform Spectrometer).
- ❑ **MOPITT** (*англ.* Measurement Of Pollution In The Troposphere).
- ❑ **TROPOMI** (*англ.* Tropospheric Monitoring Instrument).
- ❑ **MLS** (*англ.* Microwave Limb Sounder).
- ❑ **OMPS** (*англ.* Ozone Mapping and Profiler Suite)

Анализ спутниковых систем мониторинга МГС

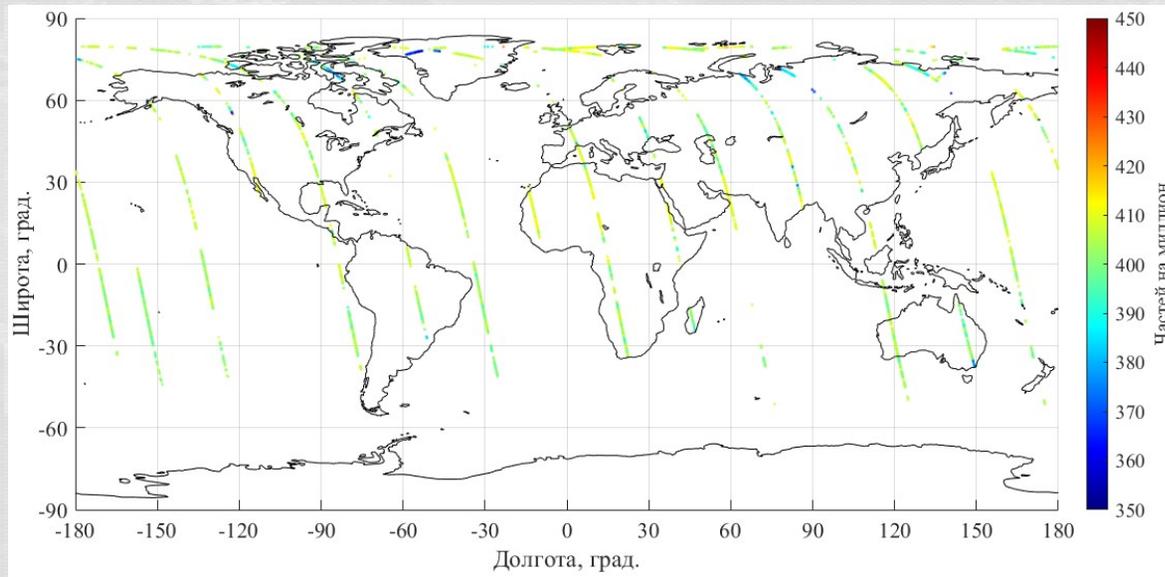
Доступность данных и относительная площадь покрытия

Газ/Прибор	ACE-FTS	OCO-2	TANSO-FTS	MOPITT	TROPOMI	MLS	OMPS
CO ₂	0.0285%	0.47%	0.105%	-	-	-	-
CH ₄	0.0285%	-	+ *	+ *	0.6% (qa > 50) 7.14% (qa > 0)	-	-
SO ₂	-	-	-	-	67.54% (qa > 50) 82.5% (qa > 0)	0.334%	17.07%
N ₂ O	0.0285%	-	-	-	-	0.334%	-

Периодичность покрытия

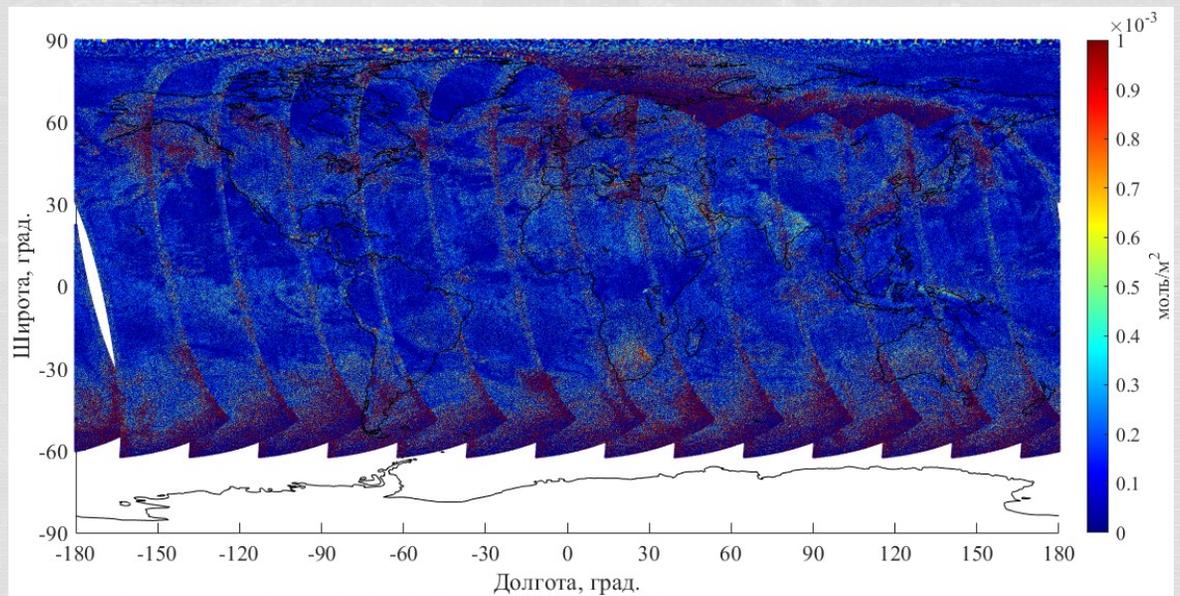
Параметр/ Прибор	ACE-FTS	OCO-2	TANSO-FTS	MOPITT	TROPOMI	MLS	OMPS
Покрытие, %	0,03	0,5	0,1	н/д	до 82,5	0,35	17
Период, сут.	н/д	30	3	5	1	3	4 (limb) 12 (nadir)

Анализ спутниковых систем мониторинга МГС



Пример суточного
покрытия результатами
измерений прибором
ОСО-2

Пример суточного композита,
сформированного по данным
TROPOMI, по распределению
интегрального количества SO_2
в атмосфере



Анализ спутниковых систем мониторинга МГС

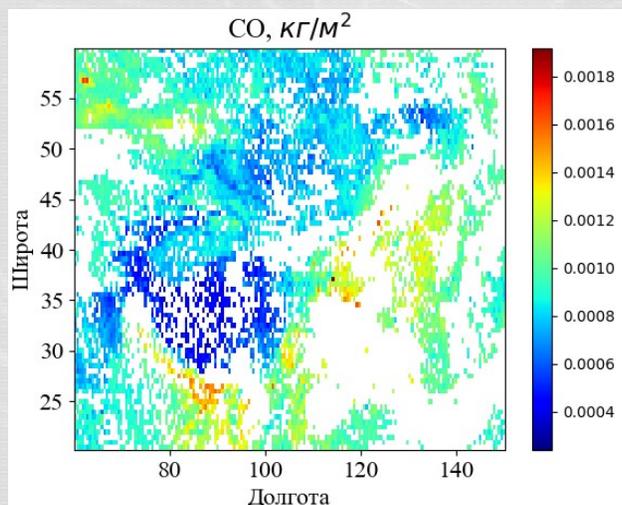
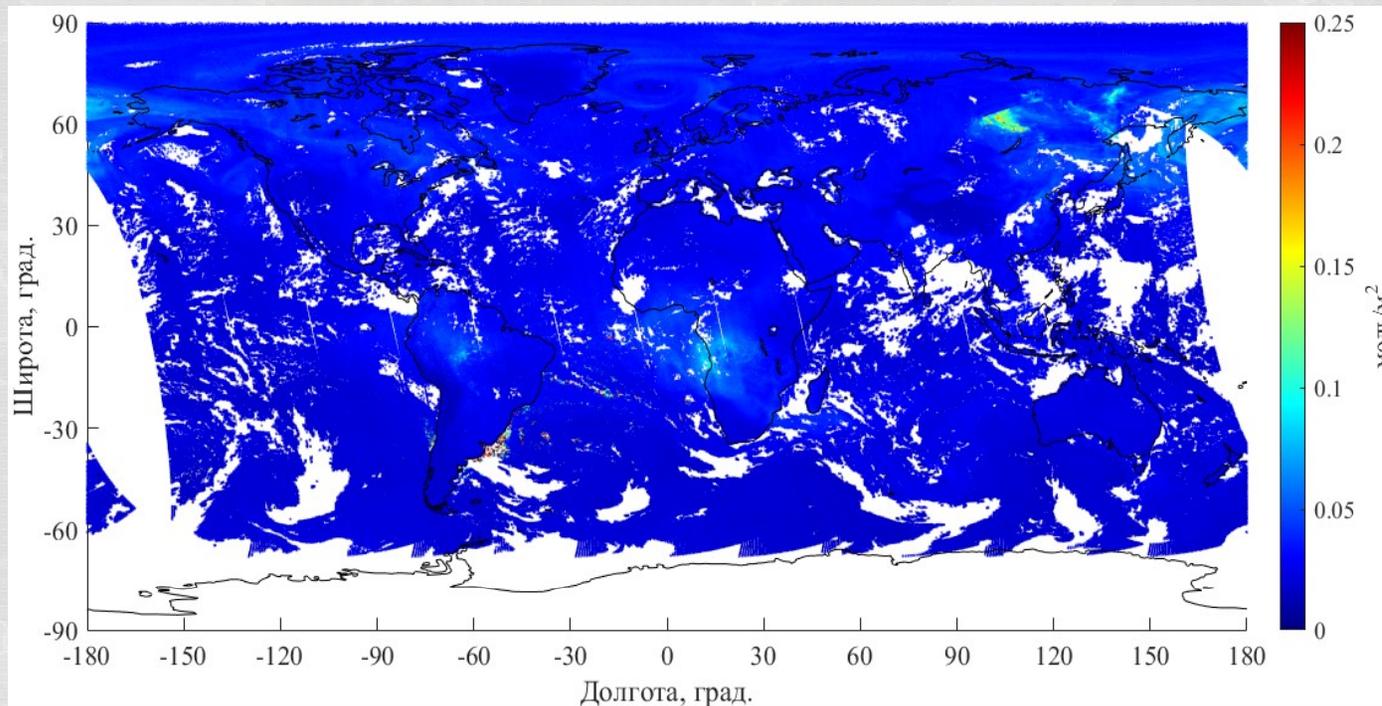
По выдвинутым критериям, наибольший потенциал для решения основной задачи проводимых исследований имеют данные, поступающие с прибора TROPOMI. При этом отсутствие заявленных данных по малым газовым составляющим CO_2 и N_2O , малое покрытие для CH_4 и неоднородность данных по диоксиду серы, не позволяют в настоящее время использовать данные этого инструмента для решения задачи оценки баланса парниковых газов.

Авторам остается надеяться на появление в ближайшее время новых алгоритмов обработки данных этого инструмента и, соответственно, возможности доступа к интересующим продуктам соответствующего качества.

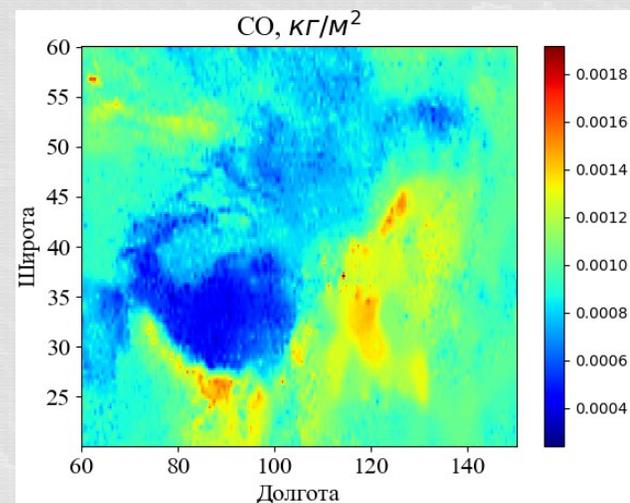
Возможность использования данных по CO

Периодичность
покрытия:
1 сутки.

Относительная
площадь
покрытия:
35-50%



Методика контекстного
заполнения



Выводы:

- Современные спутниковые методы и аппаратура измерения концентрации МГС (и парниковых газов) позволяют с высокой периодичностью, точностью и детализацией восстанавливать глобальные поля их распределения. Анализ последних может стать хорошей альтернативой используемым в настоящее время модельным функциям оценки выброса/поглощения парниковых газов для различных областей/регионов/стран, заменив теоретические расчеты фактически наблюдаемыми значениями.
- Одним из подходов оценки выброса/поглощения парниковых газов является проведение расчетов в рамках уравнения баланса на основе анализа последовательности композитных изображений, формируемых спутниковыми приборами. При этом анализируемые данные должны удовлетворять ряду требований: максимальная площадь покрытия, высокая периодичность наблюдений, высокое пространственное разрешение, однородность, а также наличие оценки качества.
- Проведенные исследования показали, что, не смотря на высокий потенциал и рекламируемые возможности, среди спутниковых приборов, функционирующих в настоящее на орбите, только инструмент TROPOMI обеспечивает поступление данных в виде, соответствующем перечисленным параметрам. К сожалению, по интересующим газовым составляющим (CO_2 , CH_4 , SO_2 и N_2O), даже данные этого, наиболее перспективного прибора, не могут быть использованы для оценки баланса МГС.
- В настоящее время, для отработки общей технологии определения элементов баланса парниковых газов, можно использовать результаты измерений интегрального содержания оксида углерода, проводимых этим прибором.



Работа выполнена при поддержке темы «Эмиссия»
(госрегистрация №122101700045-7).

Спасибо за внимание!



Институт Космических Исследований
Space Research Institute