

Возможности создания технологии оценки потоков климатически-активных газов по данным спутниковых измерений и перспективы ее использования при разработке методов мониторинга потоков углерода в наземных экосистемах

Молодежная лаборатория «Дистанционного мониторинга распределения концентраций и потоков малых газовых составляющих в атмосфере Земли» (ИКИ РАН)

Ермаков Д.М., Пашинов Е.В., Лупян Е.А., Лозин Д.В., Трохимовский А.Ю.

Углерод в наземных экосистемах: мониторинг.
Москва, ИКИ РАН, 15 февраля 2024 г.

- Разработка новых **методов измерения** малых газовых составляющих в атмосфере Земли;
- Создание новых **методов обработки** данных ДЗЗ, в том числе, для расчета **атмосферной динамики** по полям концентраций малых газовых составляющих (**горизонтальных потоков**);
- Развитие **методов усвоения** данных ДЗЗ и продуктов их обработки в численных моделях атмосферной циркуляции;
- Создание **технологии и системы** дистанционного (спутникового) научного **мониторинга концентраций и потоков** малых газовых составляющих атмосферы на территорию России и пограничных стран;
- Обеспечение возможности **оперативной оценки** пространственных **распределений концентраций и потоков** парниковых газов на территории России

Современные возможности спутниковых измерений парниковых газов



<https://space.oscar.wmo.int/gapanalyses>

Measurement timeline for [CH4](#)

Hint: Move around in the timeline by scrolling up, down, left or right.

Found 50 results

[Export](#)

This table has a large number of results.

[Hide lower rated instruments](#)

[Hide inactive instruments](#)

[First](#)

[Previous](#)

1

[Next](#)

[Last](#)

Instrument	NRT?	Relevance	Satellite	Orbit	DLR	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	
ACE-FTS		1 - Primary miss	SCISAT-1	73.9 °		X	X	X																									
EMIT		1 - Primary miss	ISS EMIT	51.6 °		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
GAS	No	1 - Primary miss	FY-3D	13:40 asc		X	X	X																									
GAS-2		1 - Primary miss	FY-3H	14:00 asc				X	X	X	X	X	X																				
GHGSat-Spectromet		1 - Primary miss	GHGSat	97.5 °		X	X	X	X	X	X	X	X	X																			
GML (GF-5)		1 - Primary miss	GF-5	13:30 asc																													
GML (GF-5)		1 - Primary miss	GF-5-02	13:30 asc		X	X	X	X	X	X	X																					
GML (GF-5)		1 - Primary miss	GF-5-01A	13:30 asc			X	X	X	X	X	X	X	X																			
ILAS-I		1 - Primary miss	ADEOS	10:30 desc																													
IMG		1 - Primary miss	ADEOS	10:30 desc																													
IPDA lidar		1 - Primary miss	MERLIN	06:00 asc						X	X	X	X	X	X																		
MIPAS		1 - Primary miss	Envisat	10:00 desc																													
MOPITT	Yes	1 - Primary miss	Terra	10:30 desc		X	X																										
SCIAMACHY-limb		1 - Primary miss	Envisat	10:00 desc																													
SCIAMACHY-nadir		1 - Primary miss	Envisat	10:00 desc																													
Sentinel-5		1 - Primary miss	Metop-SG-A2	09:30 desc												X	X	X	X	X	X	X	X										
Sentinel-5		1 - Primary miss	Metop-SG-A3	09:30 desc																		X	X	X	X	X	X	X	X	X			
Sentinel-5		1 - Primary miss	Metop-SG-A1	09:30 desc					X	X	X	X	X	X	X	X																	
TANSO-FTS	No	1 - Primary miss	GOSAT	13:00 desc		X	X	X																									
TANSO-FTS2		1 - Primary miss	GOSAT-2	13:00 desc		X	X	X																									
TES-limb		1 - Primary miss	Aura	13:40 asc																													
TES-nadir		1 - Primary miss	Aura	13:40 asc																													
TOSPO		1 - Primary miss	Meteor-MP N1	15:30 asc					X	X	X	X	X	X	X	X																	
TOSPO		1 - Primary miss	Meteor-MP N2	09:30 desc						X	X	X	X	X	X	X	X																
TROPOMI		1 - Primary miss	Sentinel-5P	13:30 asc		X	X	X	X																								
AIUS		2 - Secondary m	GF-5	13:30 asc																													
AIUS		2 - Secondary m	GF-5-02	13:30 asc		X	X	X	X	X	X	X																					
AIUS		2 - Secondary m	GF-5-01A	13:30 asc			X	X	X	X	X	X	X	X																			
IASI-NG		2 - Secondary m	Metop-SG-A2	09:30 desc												X	X	X	X	X	X	X	X										
IASI-NG		2 - Secondary m	Metop-SG-A3	09:30 desc																		X	X	X	X	X	X	X	X	X			
IASI-NG		2 - Secondary m	Metop-SG-A1	09:30 desc					X	X	X	X	X	X	X	X																	



Углерод в наземных экосистемах: мониторинг.
Москва, ИКИ РАН. 15 февраля 2024 г.

- ❑ **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)

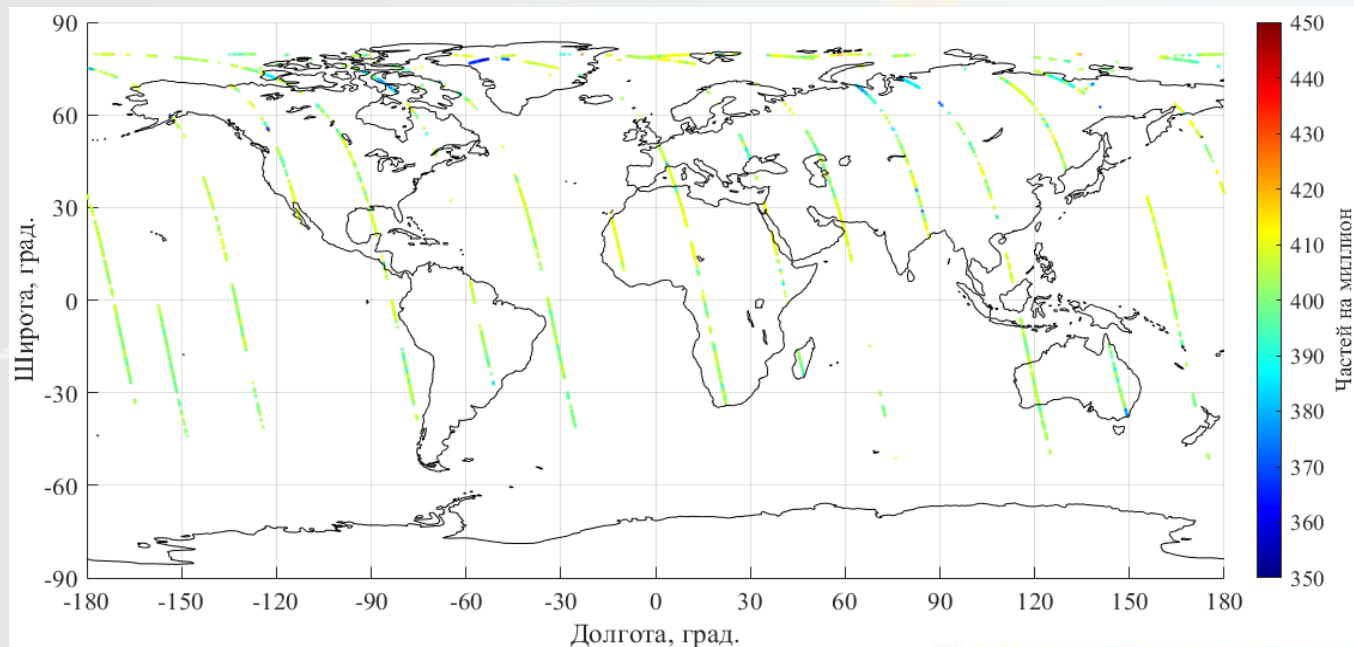
- Возможность оперативного доступа к данным;
- Максимальный пространственный охват и площадь покрытия;
- Непрерывность и высокая периодичность наблюдений;
- Высокое пространственное разрешение;
- Однородность рядов данных по ключевым характеристикам;
- Наличие оценки (флагов) качества предоставляемых продуктов.

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%	-

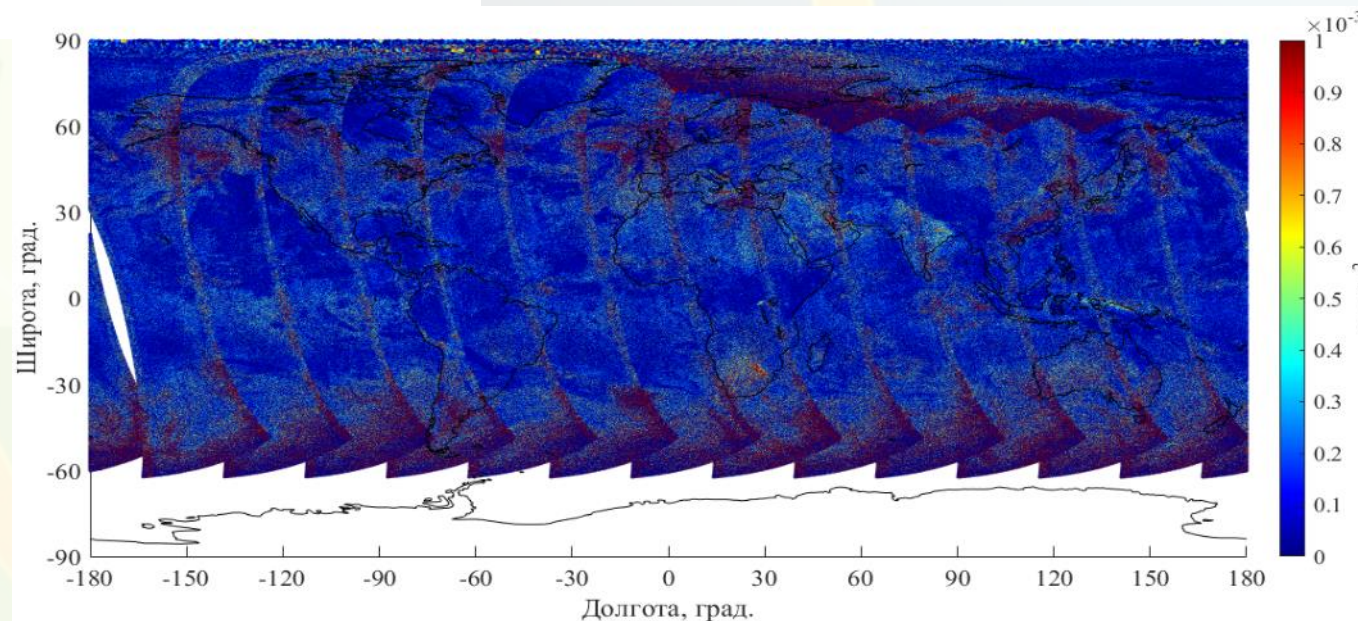
Периодичность покрытия

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)



Пример суточного покрытия результатами измерений прибором ОСО-2

Пример суточного композита, сформированного по данным ТРОПОМІ, интегрального содержания SO_2 в атмосфере

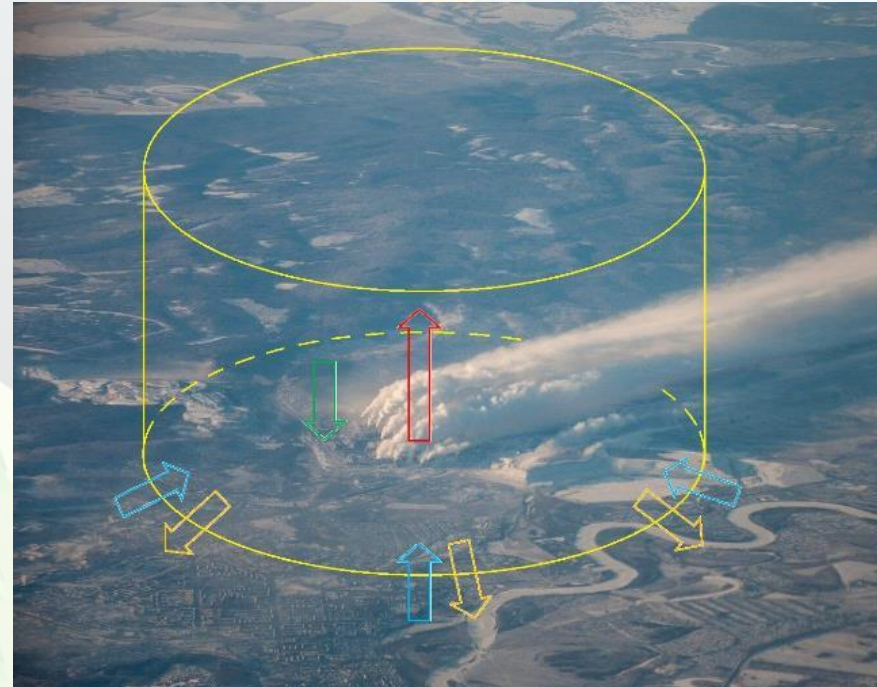


(Под «балансом парниковых газов» в работе понимается разность между суммарным выбросом газа в пределах данной территории и его суммарным стоком на той же территории)

Предлагается подход к расчету баланса ПГ, основанный на вычислительной схеме, замкнутой относительно данных спутниковых измерений концентраций ПГ

Приближения:

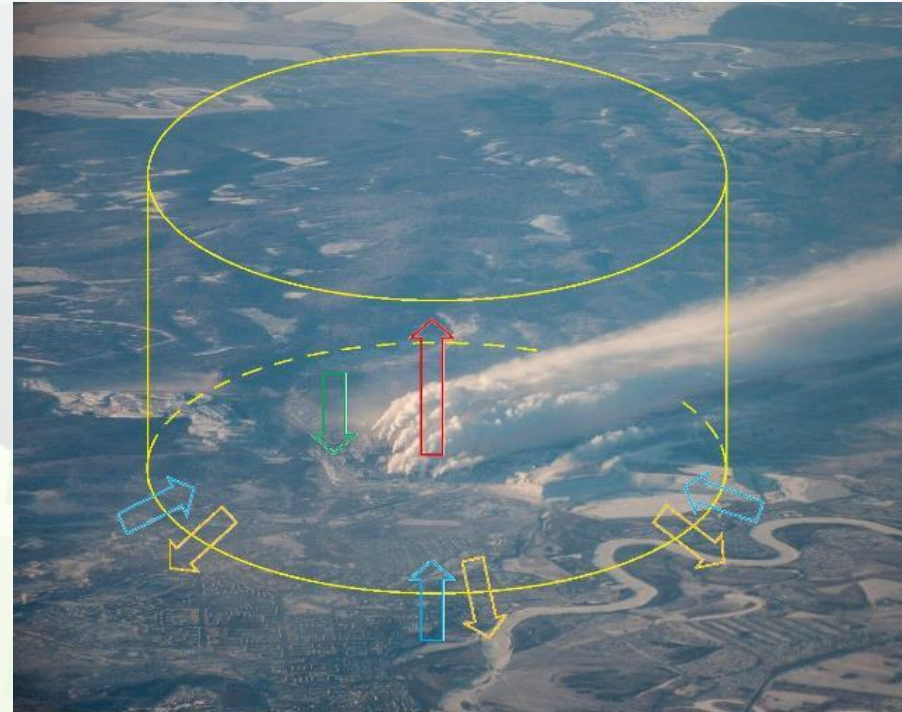
- Влияние химических реакций с участием рассматриваемого ПГ на его концентрацию в атмосфере пренебрежимо мало на выбранном интервале наблюдений.
- В этом случае из закона сохранения вещества следует, что изменение содержания ПГ в замкнутом объеме атмосферы возможно только за счет его притока (оттока) через граничную поверхность этого объема



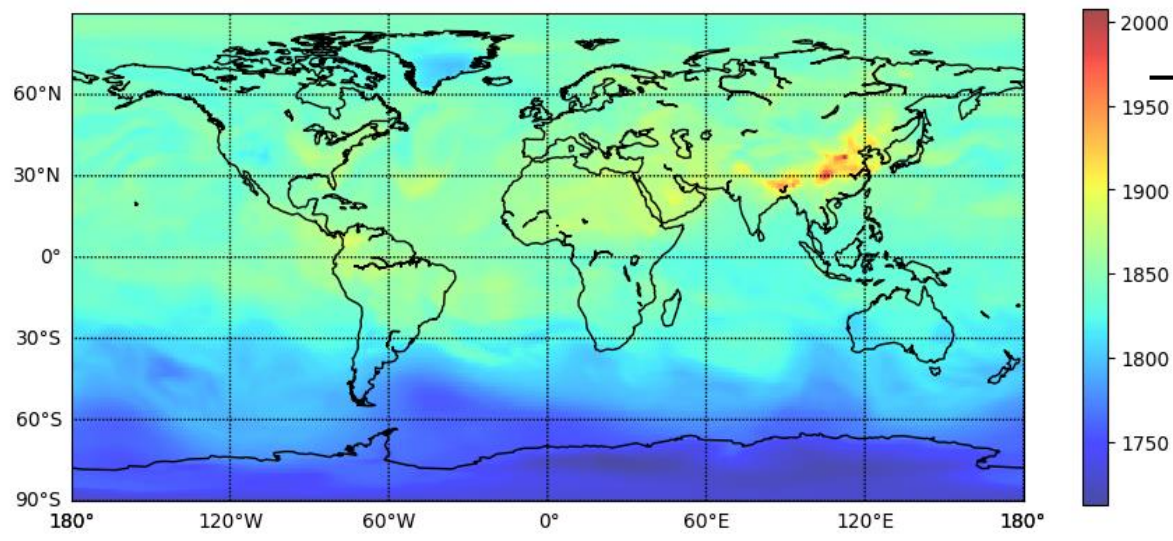
$$\int_{t_{min}}^{t_{max}} B(t)dt = - \iint_A M(x,y)dxdy \Big|_{t_{min}}^{t_{max}} - \int_{t_{min}}^{t_{max}} dt \oint_p F(x,y)dn,$$

$$F(x,y) = \int_0^{+\infty} \rho(x,y,z)v(x,y,z)dz = M(x,y)v^*(x,y)$$

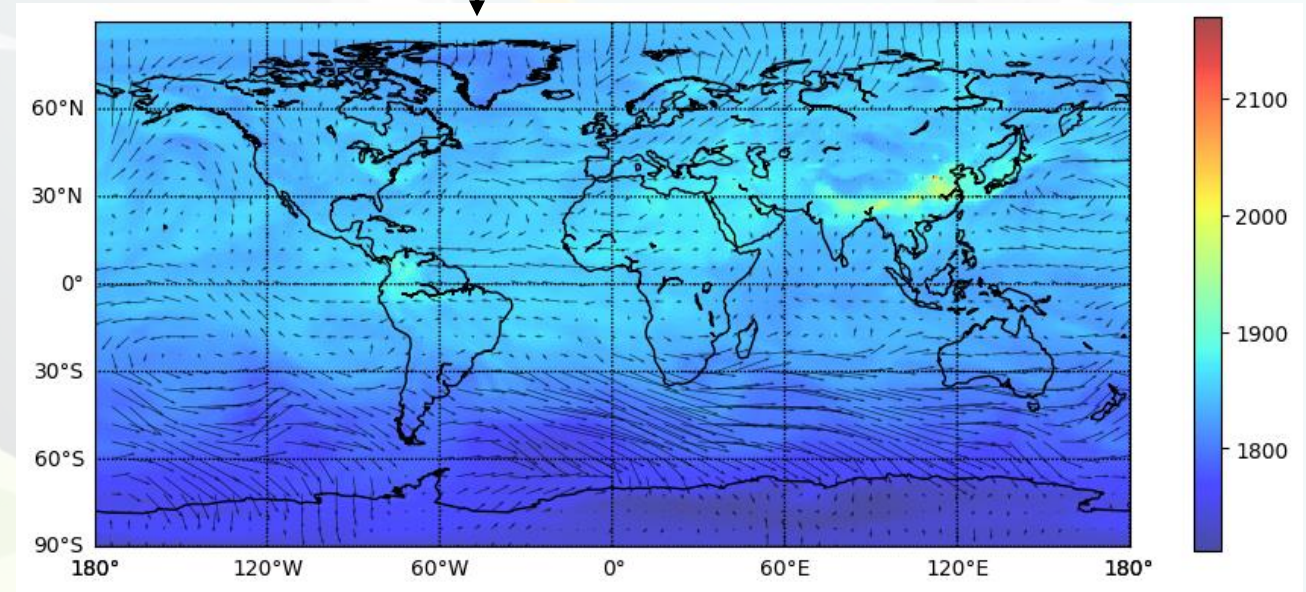
где t_{min} и t_{max} – начало и конец интервала наблюдений; $B(t)$ – «мгновенный» баланс ПГ для заданной территории A ; $M(x,y)$ – массовое содержание ПГ в вертикальном атмосферном столбе в $кг \cdot м^{-2}$; F – интегральный по высоте атмосферы горизонтальный поток ПГ в $кг \cdot м^{-1} \cdot с^{-1}$. v^* - эффективная (взвешенная по высоте атмосферы) скорость горизонтального переноса ПГ в $м \cdot с^{-1}$.



Использование методов технического зрения



Алгоритм оценки оптического потока

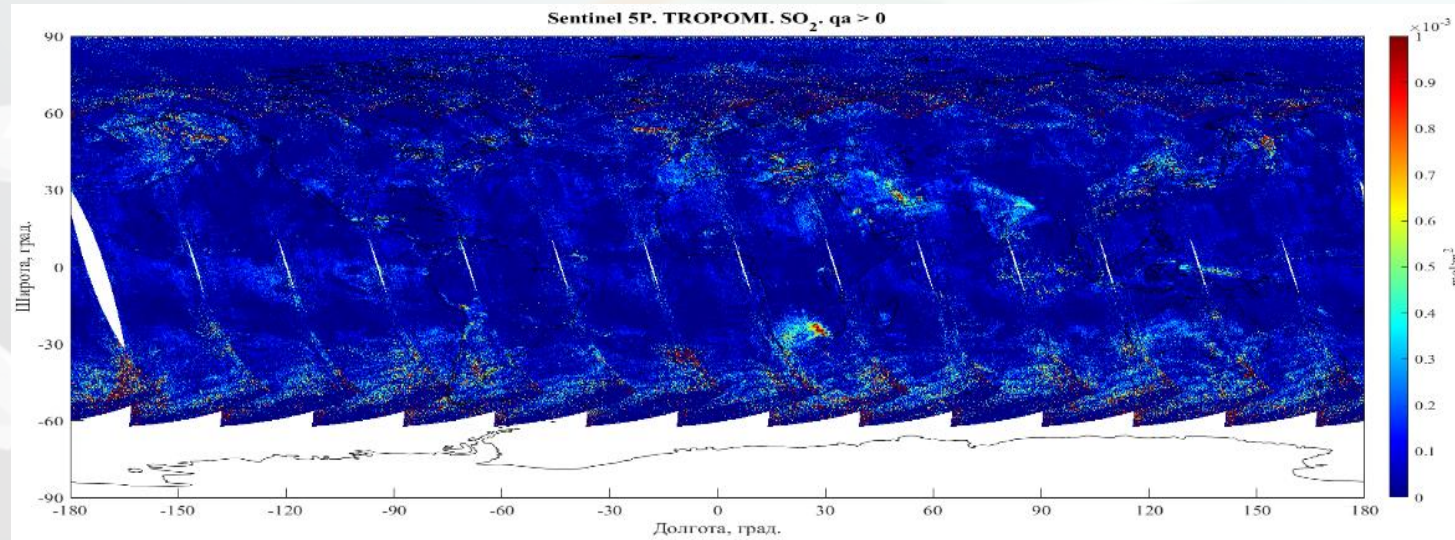


Глобальные поля концентраций парниковых газов на регулярной сетке, регулярно (посуточно) обновляемые

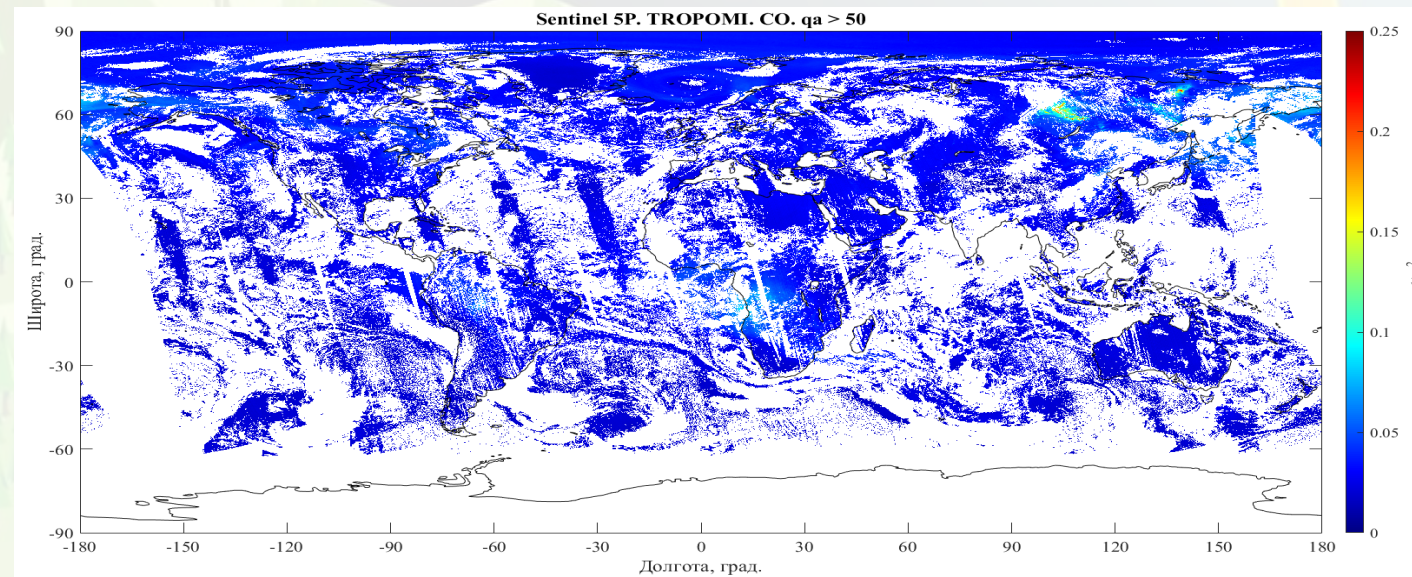
Используемый алгоритм оценки оптического потока – **DIS** (Dense Inverse Search).

Между двумя соседними по времени спутниковыми изображениями строится поле векторов смещения всех элементов (пикселей), которое наилучшим образом объясняет наблюдаемые изменения.

Выбор данных ДЗЗ для проверки методики



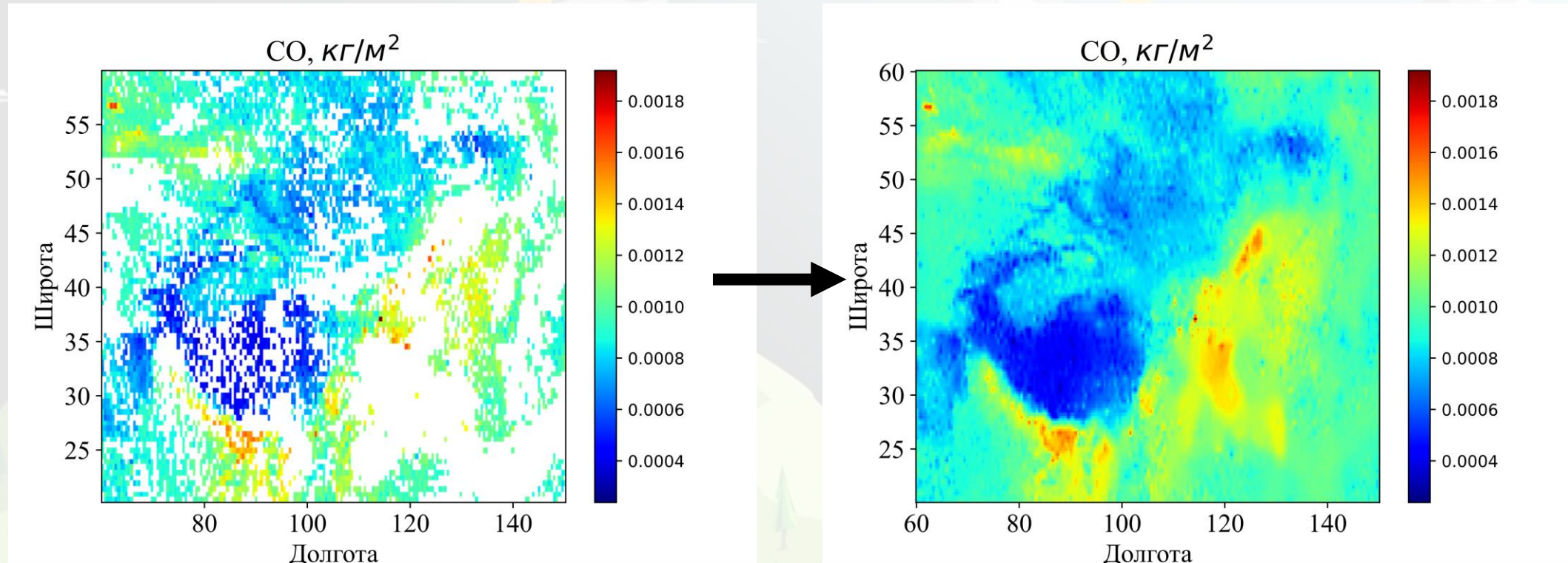
Данные по содержанию ПГ инструмента Tropicomi в ЦКП «ИКИ Мониторинг»



Выбор данных ДЗЗ для отработки методики

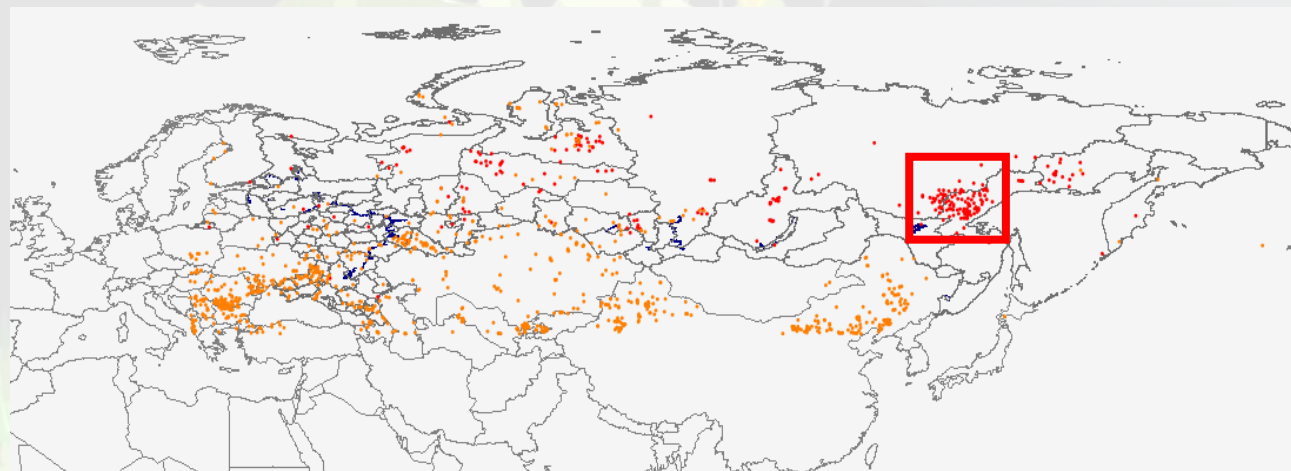
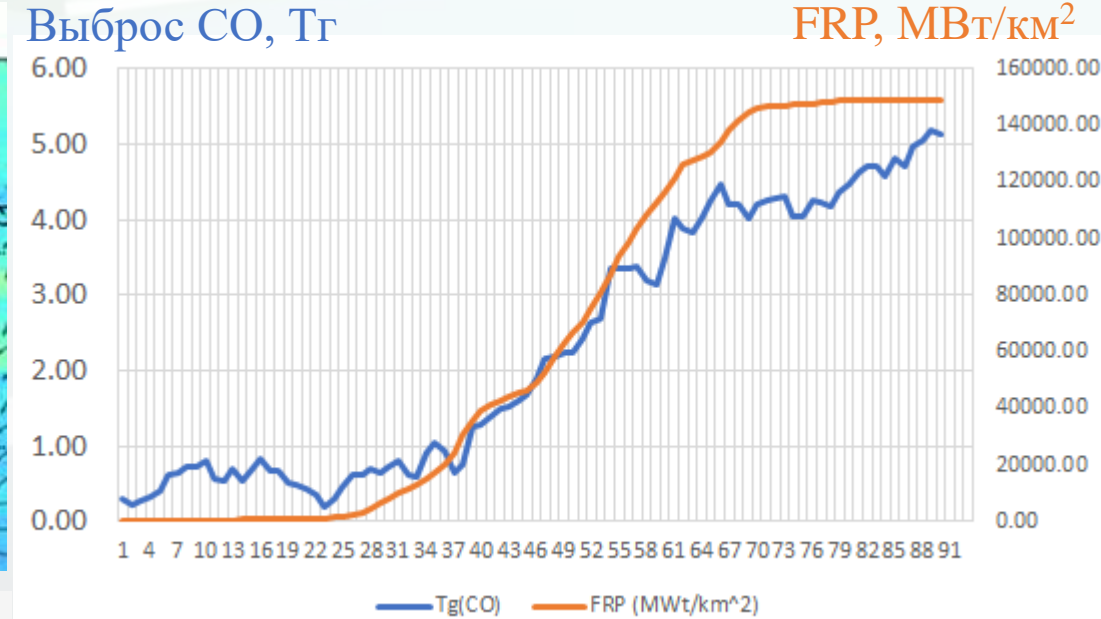
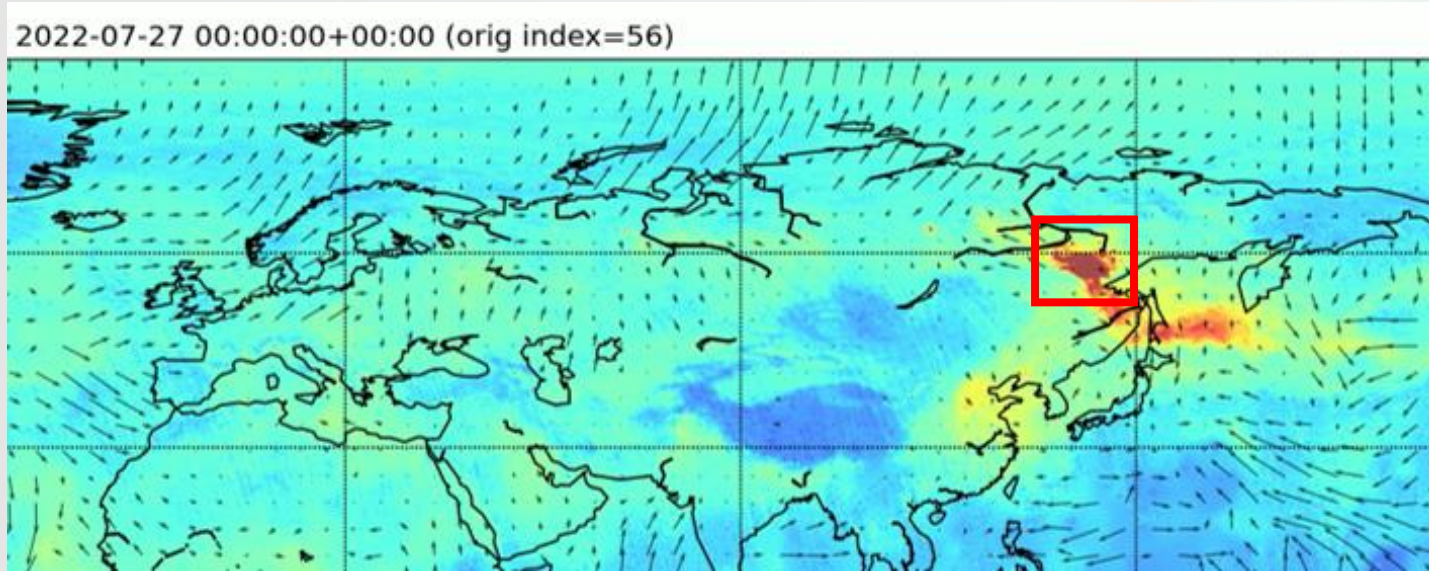
Алгоритмы контекстного заполнения

Fast marching method



Снижение разрешения с $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ до $0,25^\circ \times 0,25^\circ$

Восстановление баланса CO (выброса) в области сильных лесных пожаров



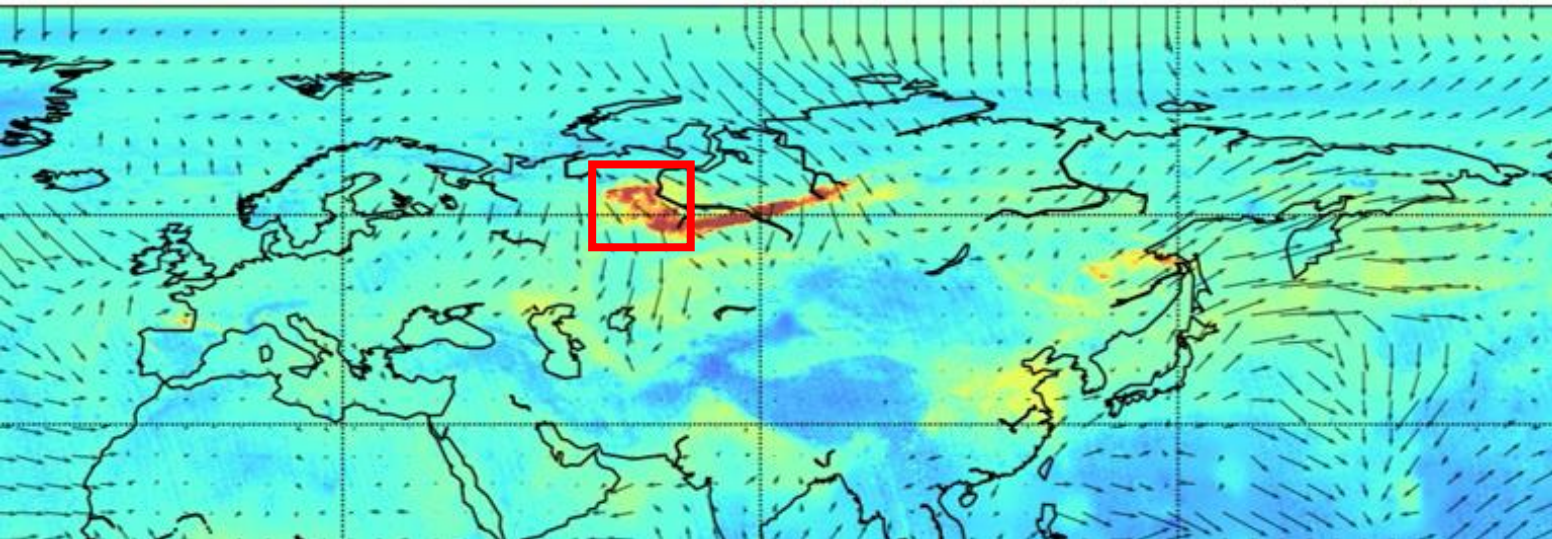
Скопление очагов лесных пожаров летом 2022 года на севере Хабаровского края и юго-востоке республики Саха

За интервал с 01.06.22 по 31.08.22:
накопленный выброс CO (балансовая оценка)
накопленная интенсивность горения FRP

Выброс CO в интервале с 10.07.22 по 10.08.22:
по GFED совокупно – $3,9 \times 10^9$ кг;
по балансовой оценке – $2,9 \times 10^9$ кг;
по GFED (без типизации) – $1,4 \times 10^9$ кг.

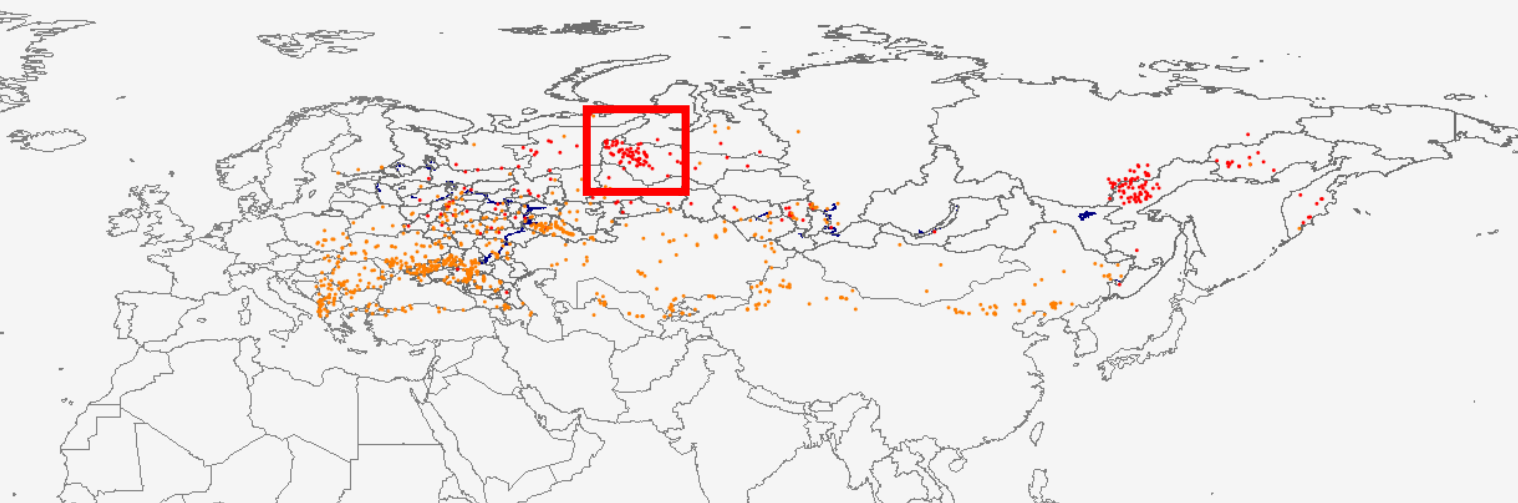
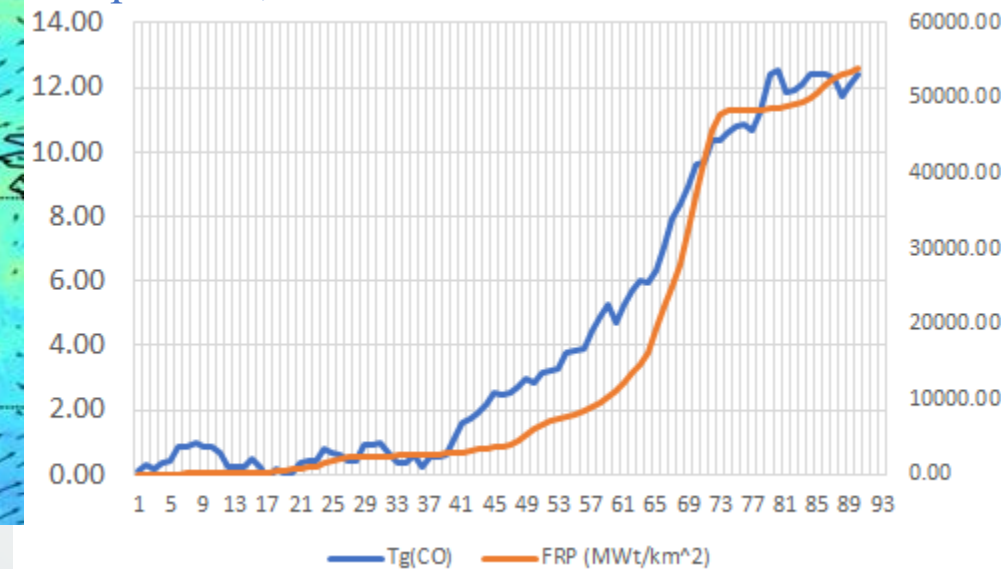
Восстановление баланса CO (выброса) в области сильных лесных пожаров

2022-08-10 00:00:00+00:00 (orig index=70)



Выброс CO, Tг

FRP, МВт/км²

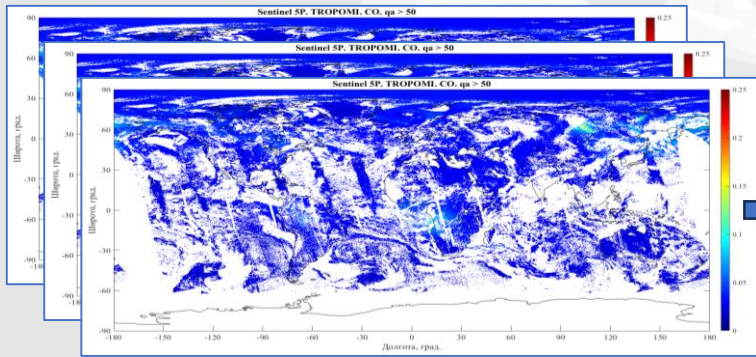


За интервал с 01.06.22 по 31.08.22:
накопленный выброс CO (оценка баланса)
накопленная интенсивность горения FRP

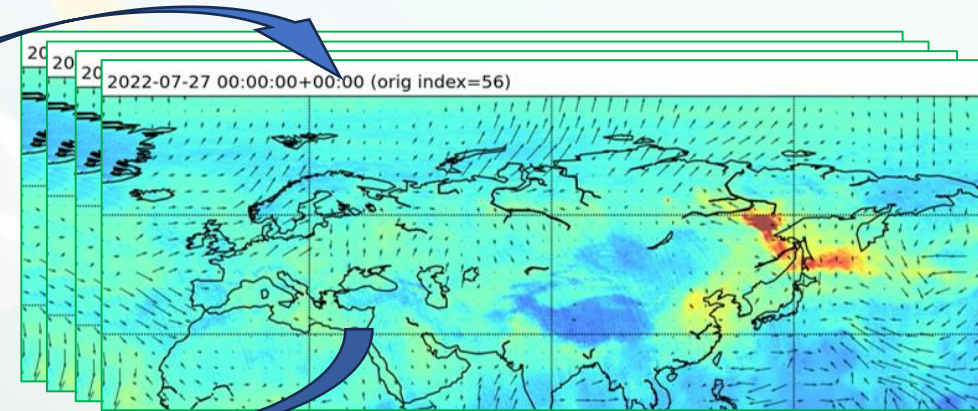
Выброс CO с 20.07.22 по 27.08.22:
по GFED совокупно – $2,42 \times 10^9$ кг;
по балансовой оценке – $2,42 \times 10^9$ кг.

Скопление очагов лесных пожаров летом 2022 года на территории западной части Ханты-Мансийского автономного округа

Создание архивов спутниковых данных и информационных продуктов о распределениях и потоках климатически активных газов



Данные спутникового мониторинга ПГ



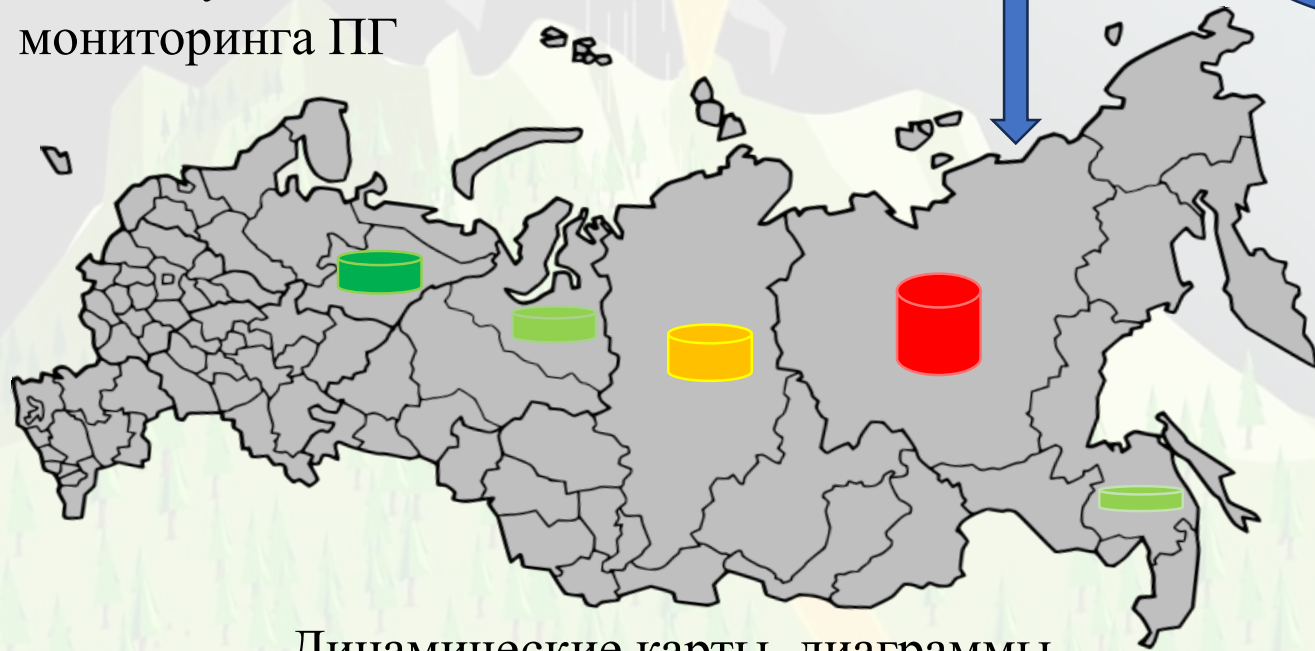
Первичные продукты: концентрации и горизонтальные потоки МГС, в т.ч., ПГ

Высокоуровневые продукты:

- ежемесячные балансы по регионам
- ежемесячные балансы по ячейкам
- балансы по настраиваемому запросу

Производные продукты:

- суммы по регионам и ячейкам
- накопление по времени (сезон, год...)
- разности текущих и среднемноголетних
- дисперсии, тренды и т.д.



Динамические карты, диаграммы

Углерод в наземных экосистемах: мониторинг.

Москва, ИКИ РАН. 15 февраля 2024 г.

- ✓ Интеграция создаваемых информационных ресурсов (может быть выполнена на базе ЦКП «ИКИ-Мониторинг» и ИАС «Углерод-Э»)
- ✓ Использование данных и оценок, получаемых лабораторией и РИТМ, для кросс-валидации и подтверждения точности создаваемых методов и подходов. В том числе:
 - использование данных сети контактных измерений для валидации создаваемых подходов и продуктов;
 - «прямые» измерения (оценки) выбросов от крупных источников загрязнений (например, крупных пожаров);
 - сопоставление интегральных оценок потоков на различных территориях, получаемых разными методами
- ✓ Совместная разработка рекомендаций по использованию создаваемых подходов и информационных продуктов
- ✓ Совместная разработка требований к перспективным системам спутниковых наблюдений климатически-активных газов.

Молодежная лаборатория «Дистанционного мониторинга распределения концентраций и потоков малых газовых составляющих в атмосфере Земли» ИКИ РАН

Д.М. Ермаков, зав. отделом 55 ИКИ РАН
d.m.ermakov@cosmos.ru

Е.В. Пашинов, зав. мол. лабораторией
pashinove@mail.ru

Спасибо за внимание!