

Работы молодёжной лаборатории ИКИ РАН по созданию технологии
оценки потоков климатически-активных газов по данным
спутниковых измерений

Пашинов Е.В.

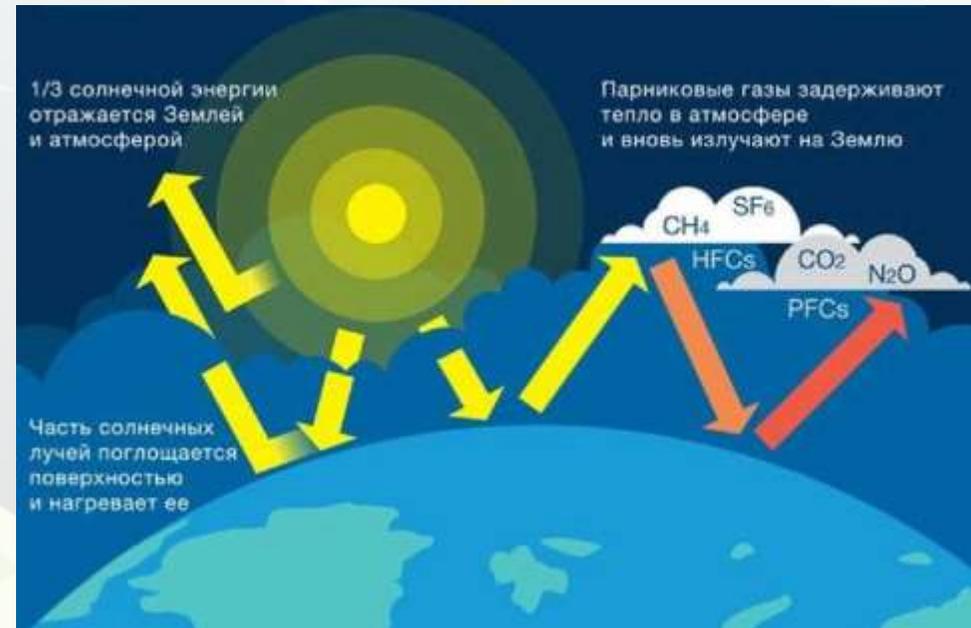
Молодежная лаборатория «Дистанционного мониторинга распределения концентраций и потоков малых газовых составляющих в атмосфере Земли» (ИКИ РАН)

Парниковый эффект

Способность атмосферы задерживать часть теплового излучения поверхности планеты, приводящая к аккумуляции тепла климатической системой планеты, называется **парниковым эффектом**.

Благодаря тому, что парниковый эффект существует, средняя температура нашей планеты составляет примерно +15°C. Без него жизнь на Земле была бы невозможна.

Впервые явление было описано Жозефом Фурье в начале XIX века.



Ответственными за данный эффект являются, так называемые, парниковые газы – многоатомные соединения, с повышенной способностью поглощать и переизлучать тепловое инфракрасное излучение.

Основными парниковыми газами Земли являются: водяной пар H₂O (36-72%), диоксид углерода CO₂ (9-26%), метан CH₄ (4-9%) и озон O₃ (3-7%).

Измерение потоков парниковых газов

Наземные измерения

Эколого-климатические станции:

- измерение потоков парниковых газов (CO_2 , CH_4 , N_2O , H_2O);
- метеорологические наблюдения.



Сеть пробных площадей:

- видовой состав растительности;
- продуктивность;
- параметры горизонтальной и вертикальной структуры;
- характеристики почв;
- характеристики напочвенного покрова.

Моделирование



Дистанционное зондирование

Дистанционный мониторинг наземных экосистем с космических спутников и БПЛА:

- динамическое картографирование типов наземных экосистем;
- мониторинг динамики характеристик растительного покрова;
- оценка воздействия негативных факторов;
- динамическое картографирование запасов углерода в наземных экосистемах.



- 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

- ❑ **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)

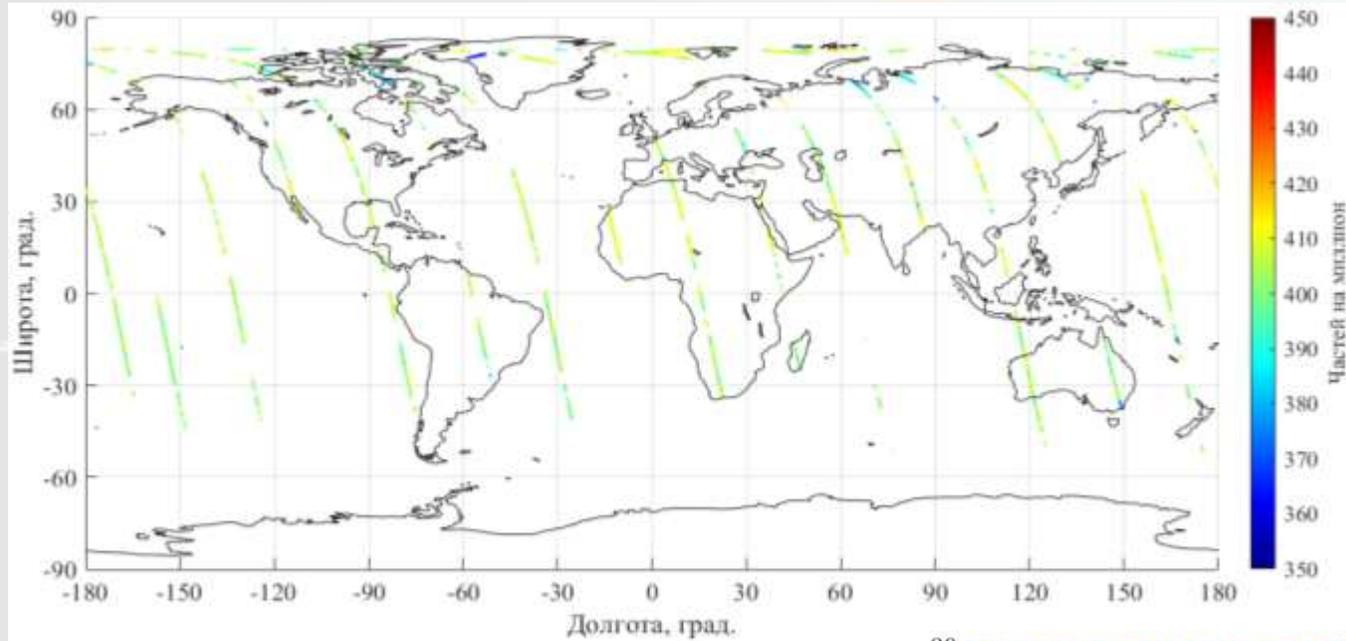
- Возможность оперативного доступа к данным;
- Максимальный пространственный охват и площадь покрытия;
- Непрерывность и высокая периодичность наблюдений;
- Высокое пространственное разрешение;
- Однородность рядов данных по ключевым характеристикам;
- Наличие оценки (флагов) качества предоставляемых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

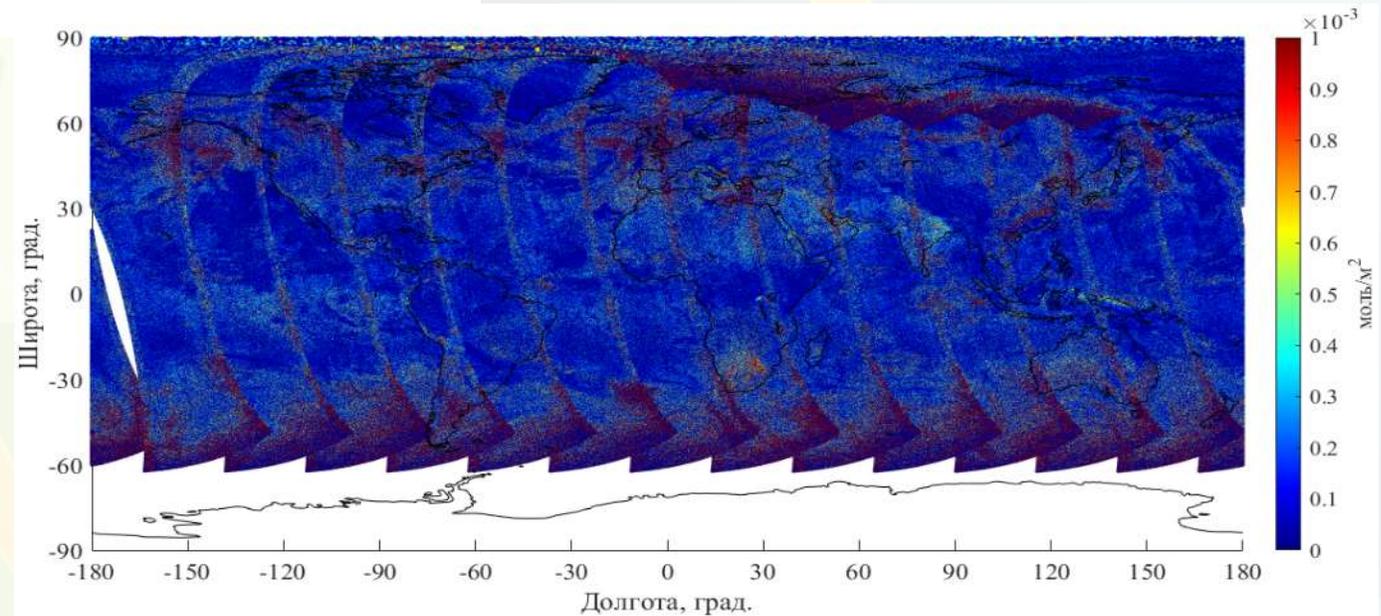
Периодичность покрытия

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

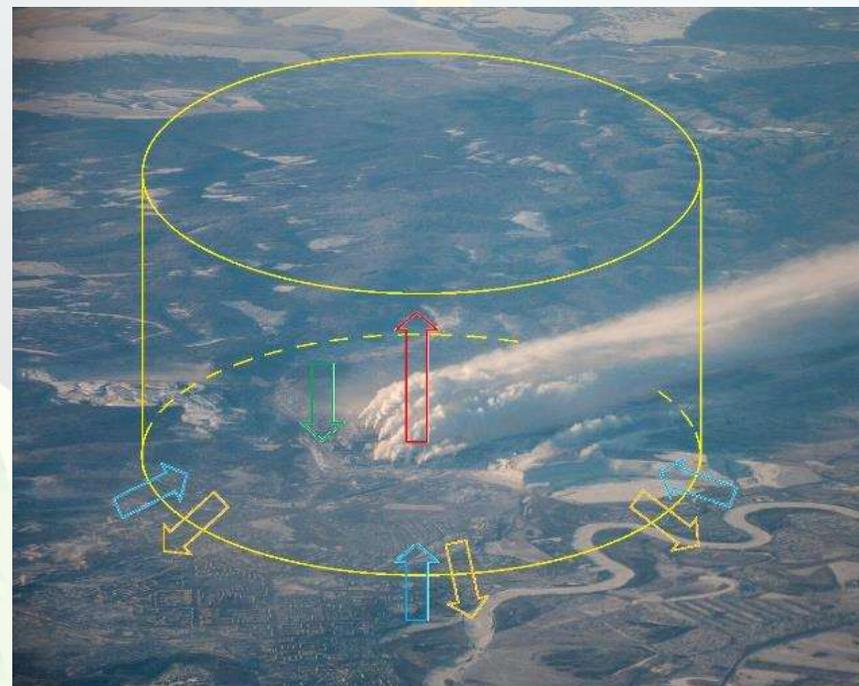


(Под «балансом парниковых газов» в работе понимается разность между суммарным выбросом газа в пределах данной территории и его суммарным стоком на той же территории)

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

Приближения:

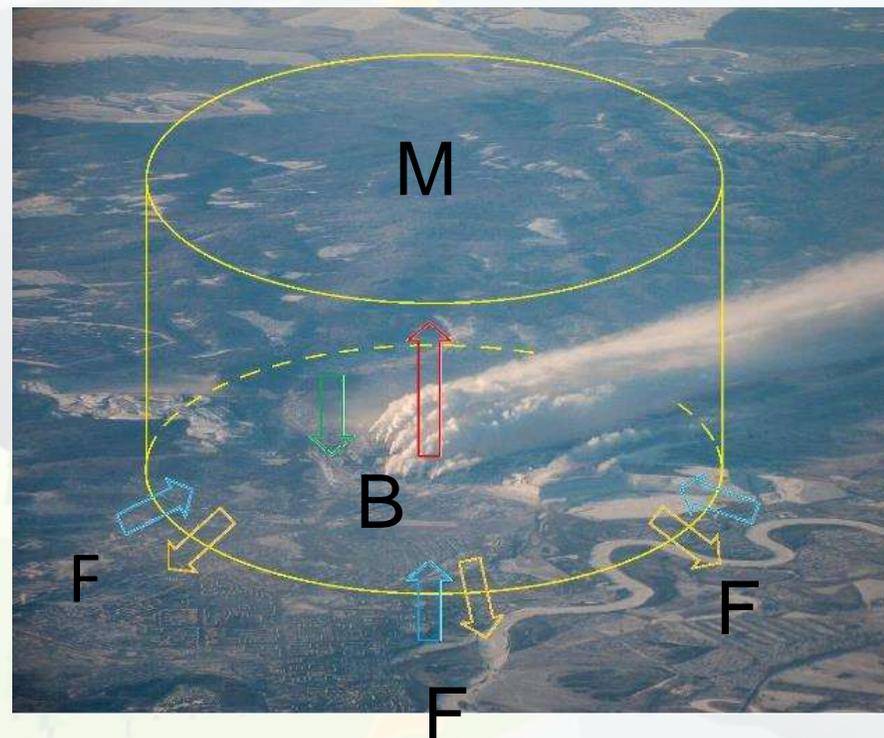
- Влияние химических реакций с участием рассматриваемого ПГ на его концентрацию в атмосфере пренебрежимо мало на выбранном интервале наблюдений.
- В этом случае из закона сохранения вещества следует, что изменение содержания ПГ в замкнутом объеме атмосферы возможно только за счет его притока (оттока)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



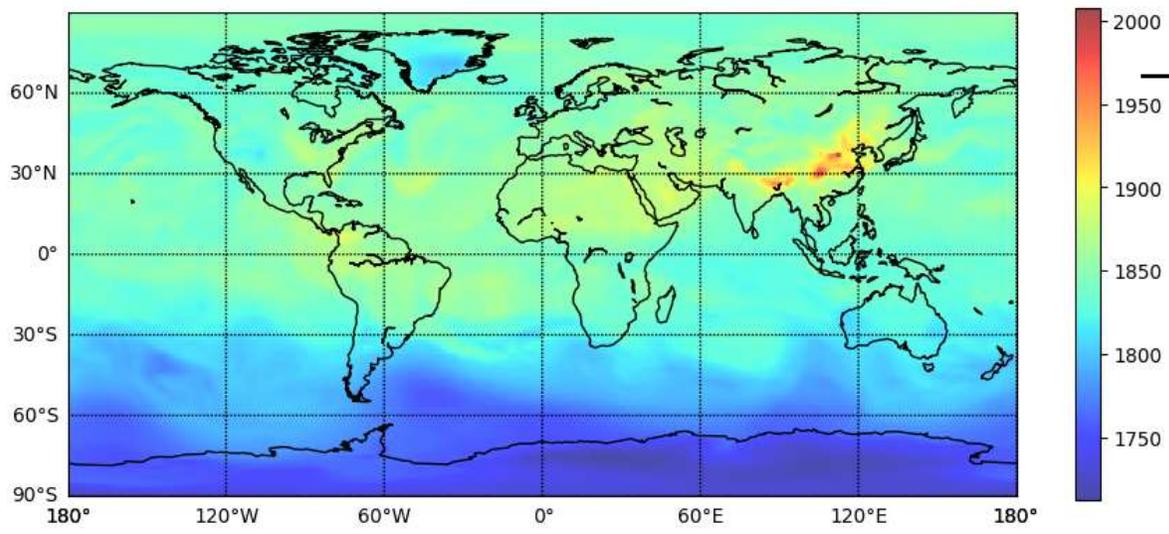
$$\int_{t_{min}}^{t_{max}} B(t)dt = - \iint_A M(x,y)dxdy \Big|_{t_{min}}^{t_{max}} - \int_{t_{min}}^{t_{max}} dt \oint_p F(x,y)dn,$$

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

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 $м \cdot с^{-1}$.

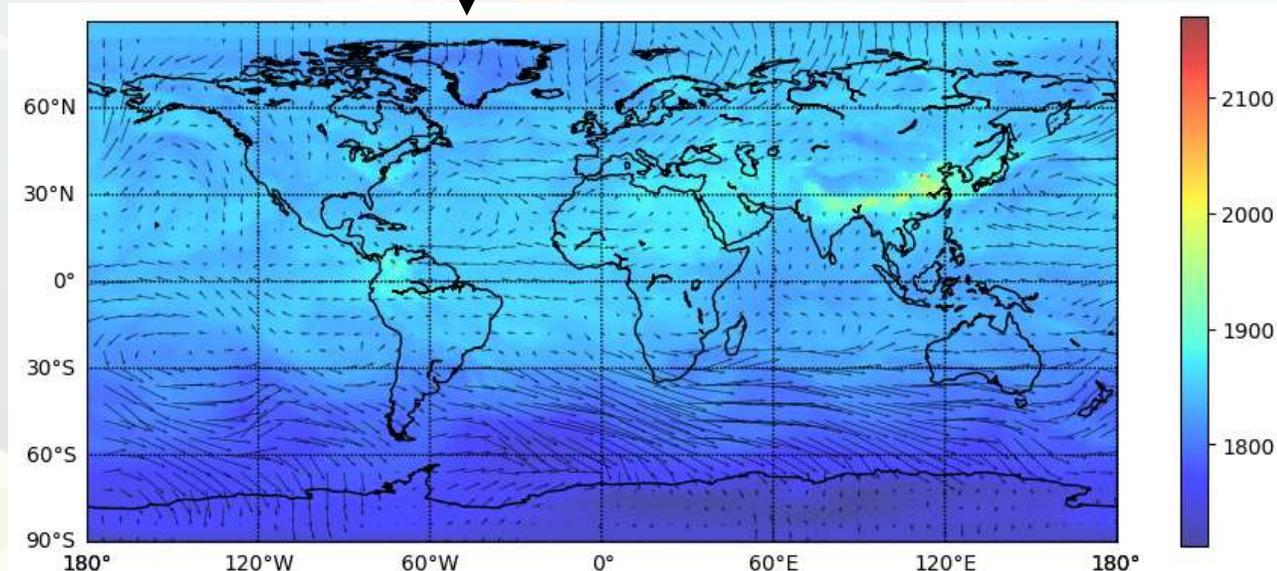


Использование методов технического зрения



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

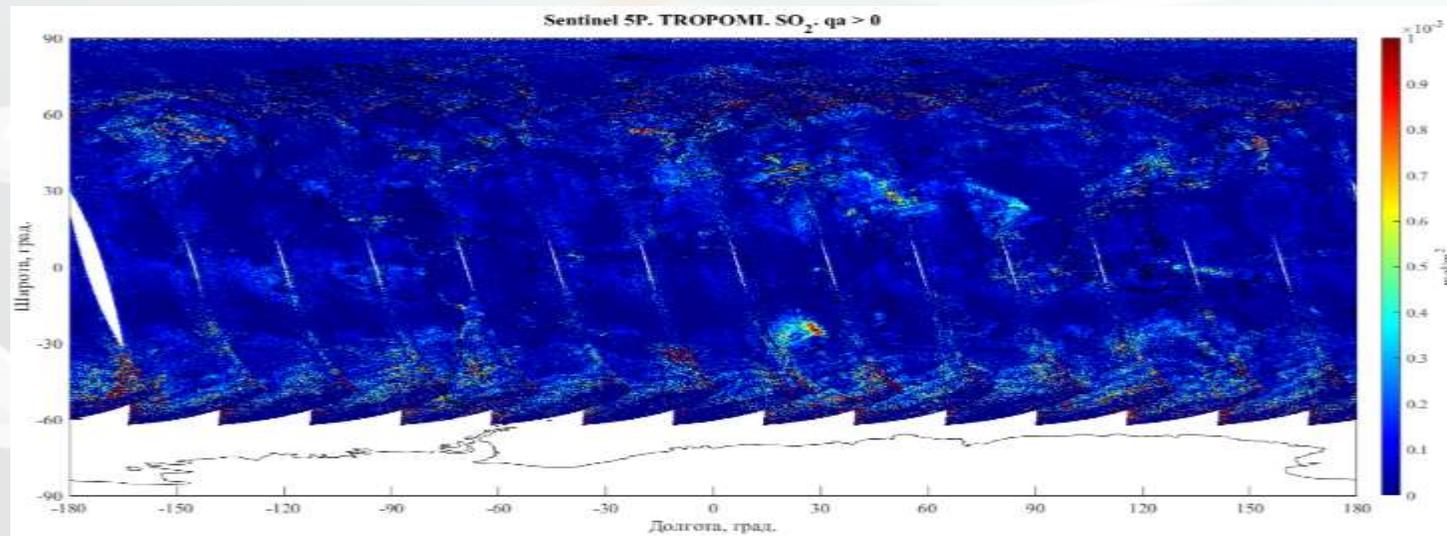
Алгоритм оценки оптического потока



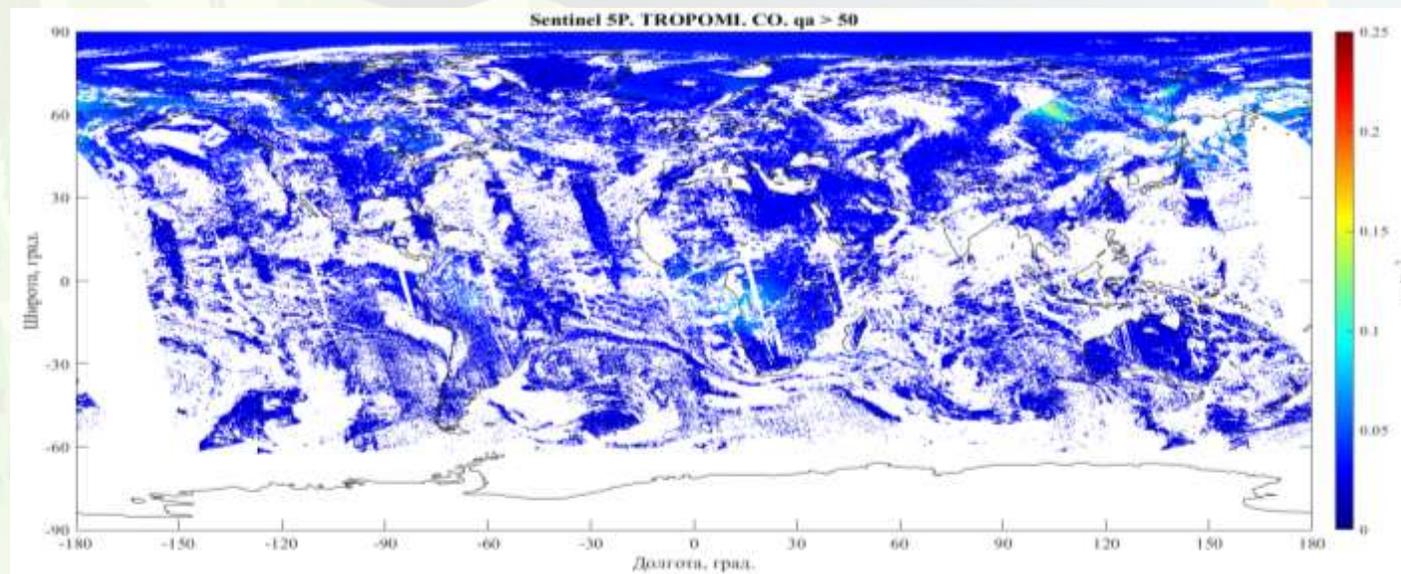
Используемый алгоритм оценки оптического потока – **DIS** (Dense Inverse Search).

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



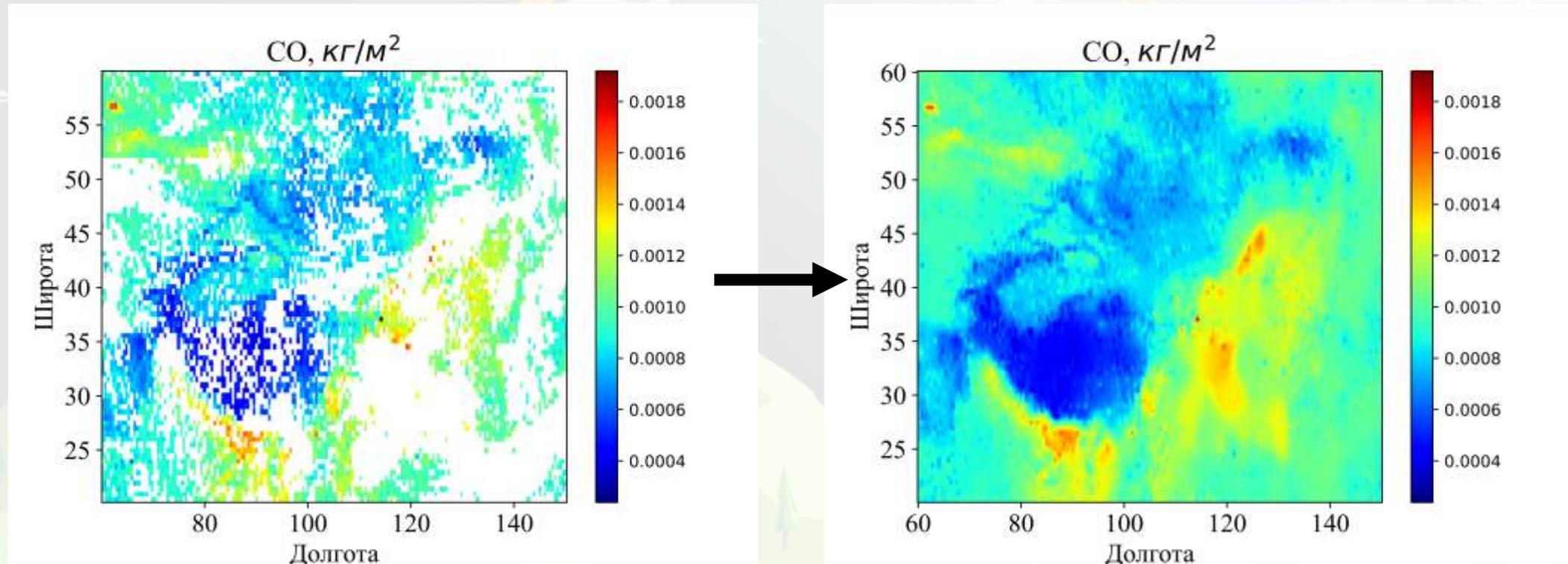
Данные по содержанию ПГ инструмента Tropicomi в ЦКП «ИКИ Мониторинг»



Выбор данных ДЗЗ для отработки методики

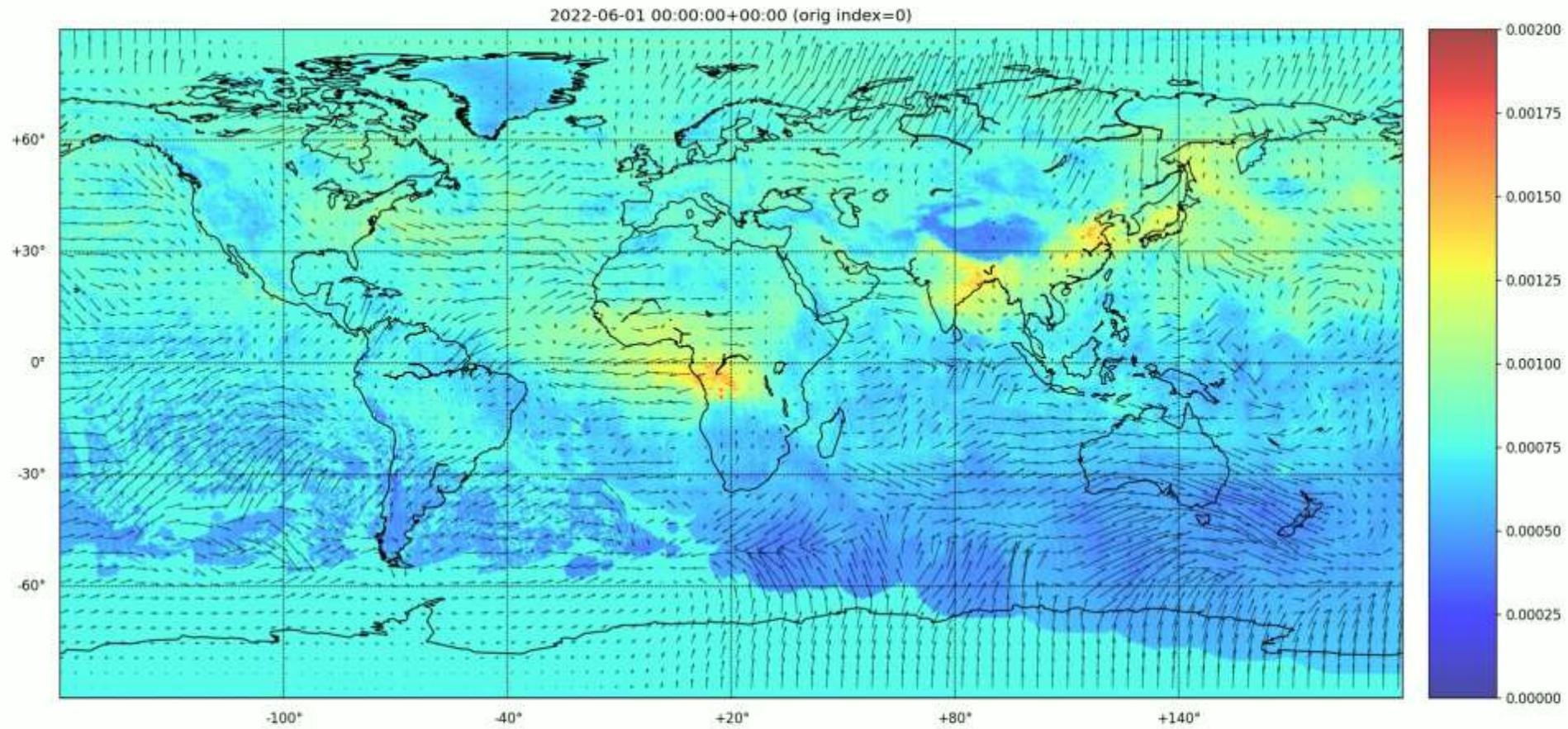
Алгоритмы контекстного заполнения

Fast marching method

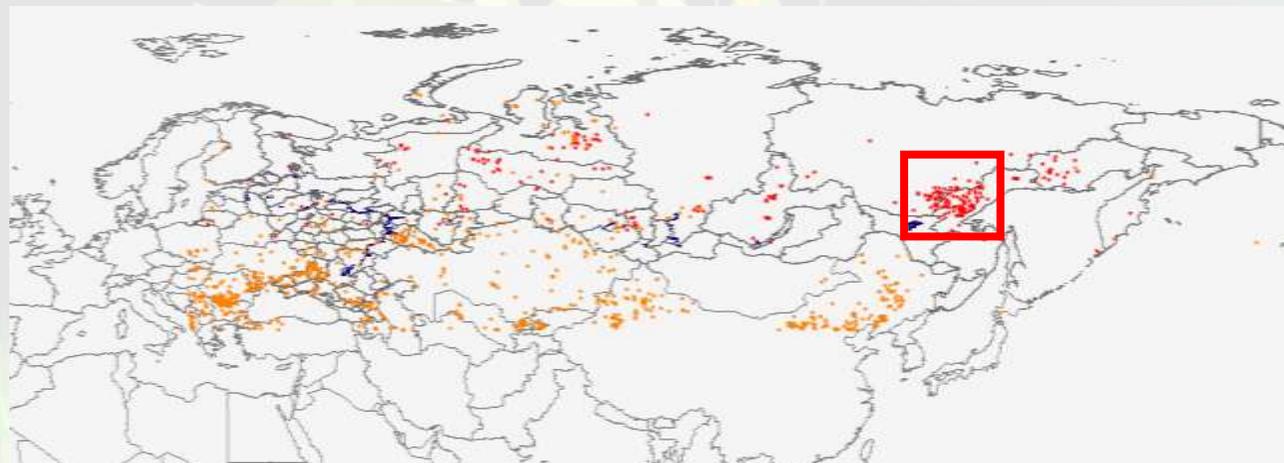
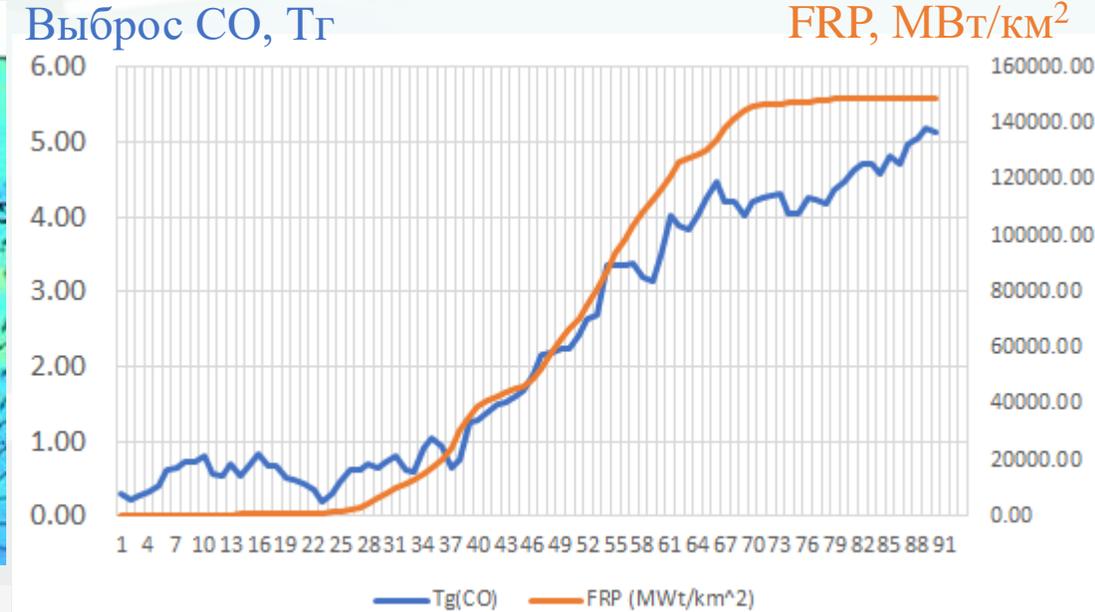
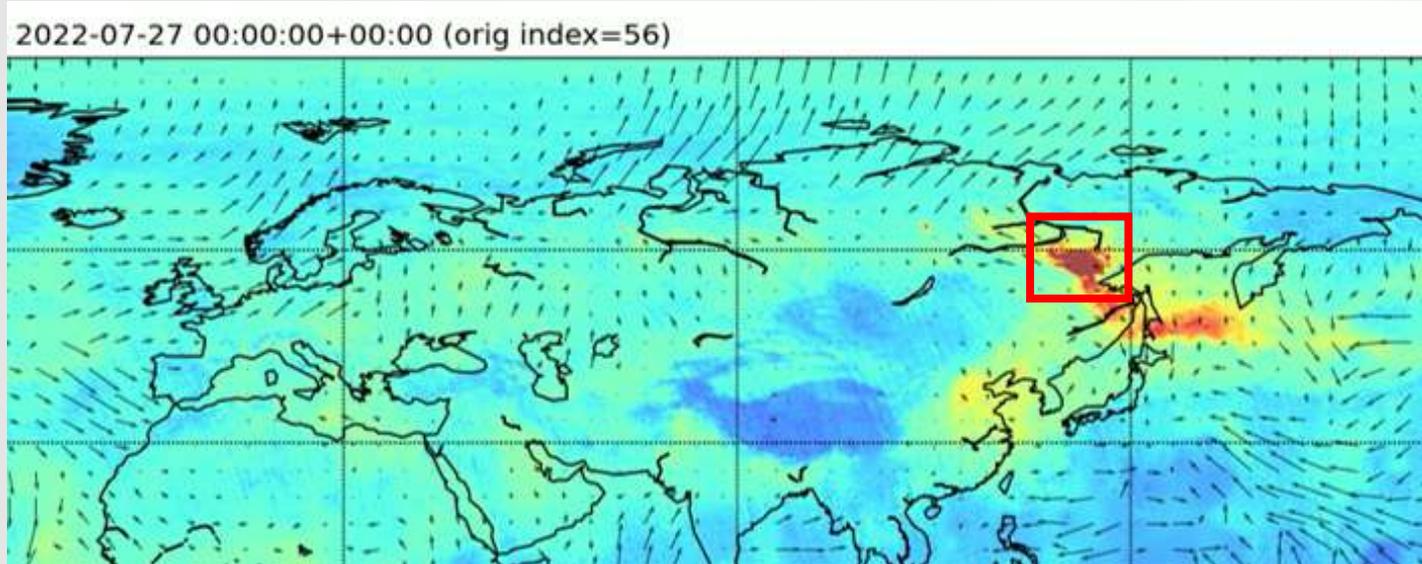


Снижение разрешения с $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ до $0,25^\circ \times 0,25^\circ$

Расчёт адвекции CO по данным Tropomi за лето 2022 года



Восстановление баланса CO (выброса) в области сильных лесных пожаров



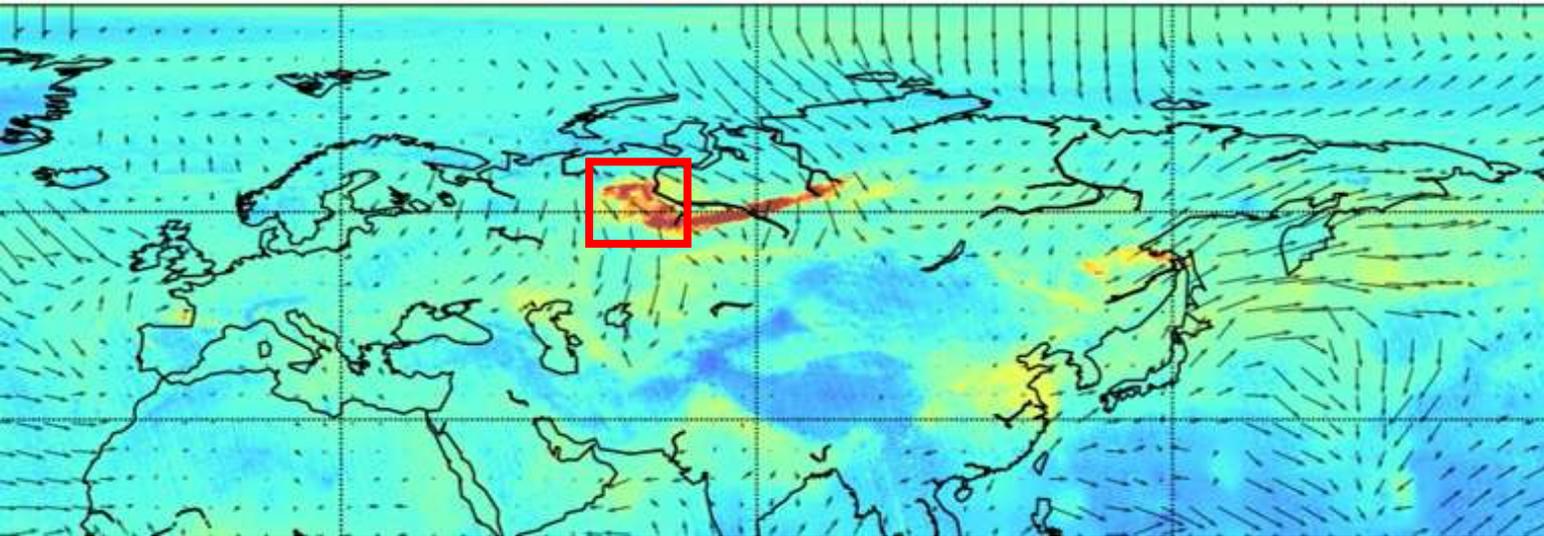
Скопление очагов лесных пожаров летом 2022 года на севере Хабаровского края и юго-востоке республики Саха

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.

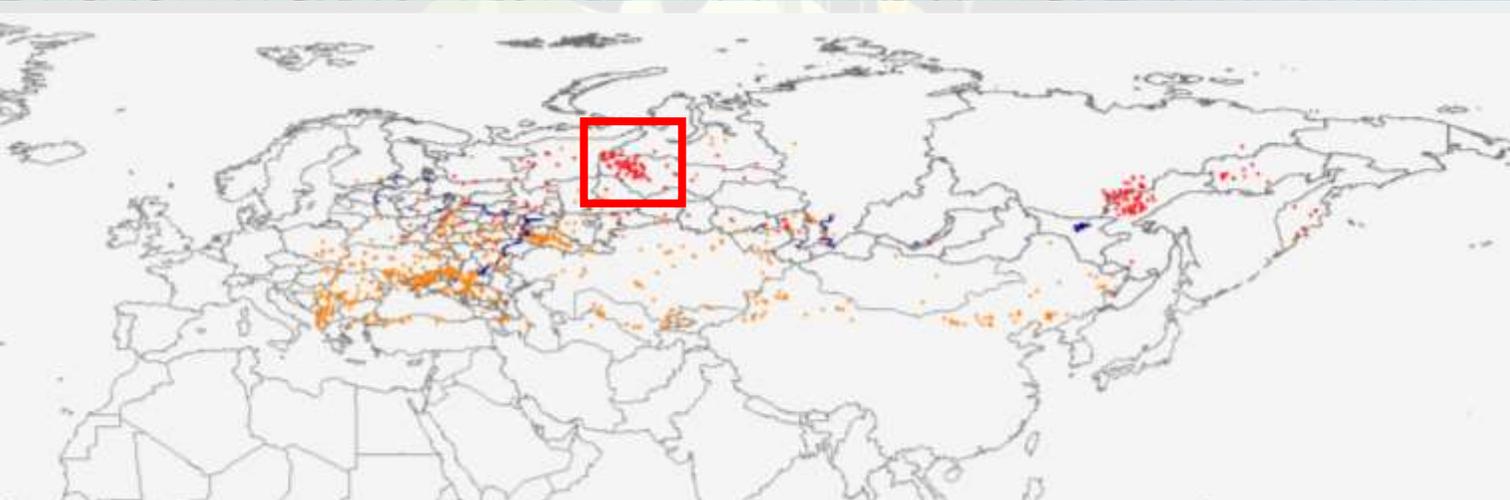
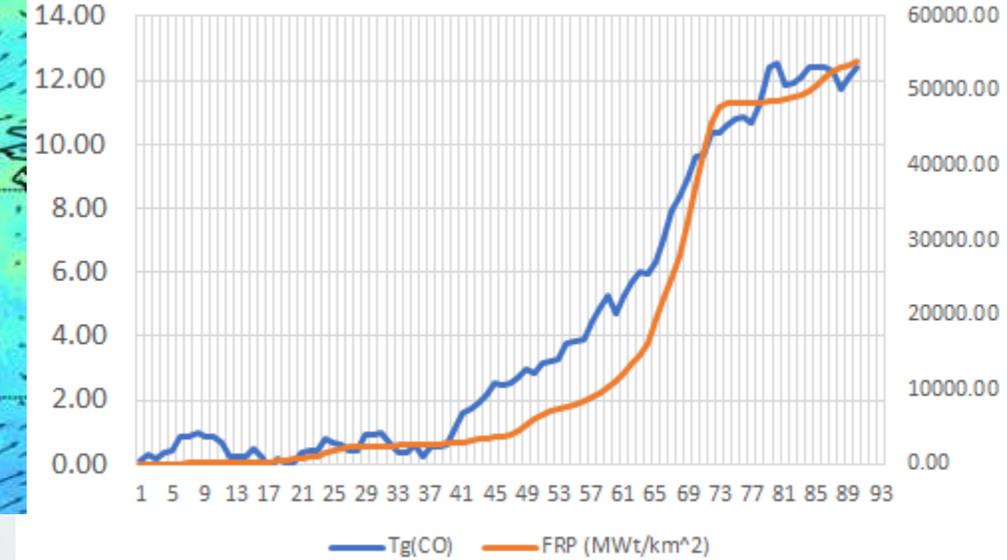
Восстановление баланса CO (выброса) в области сильных лесных пожаров

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



Выброс CO, Tг

FRP, МВт/км²

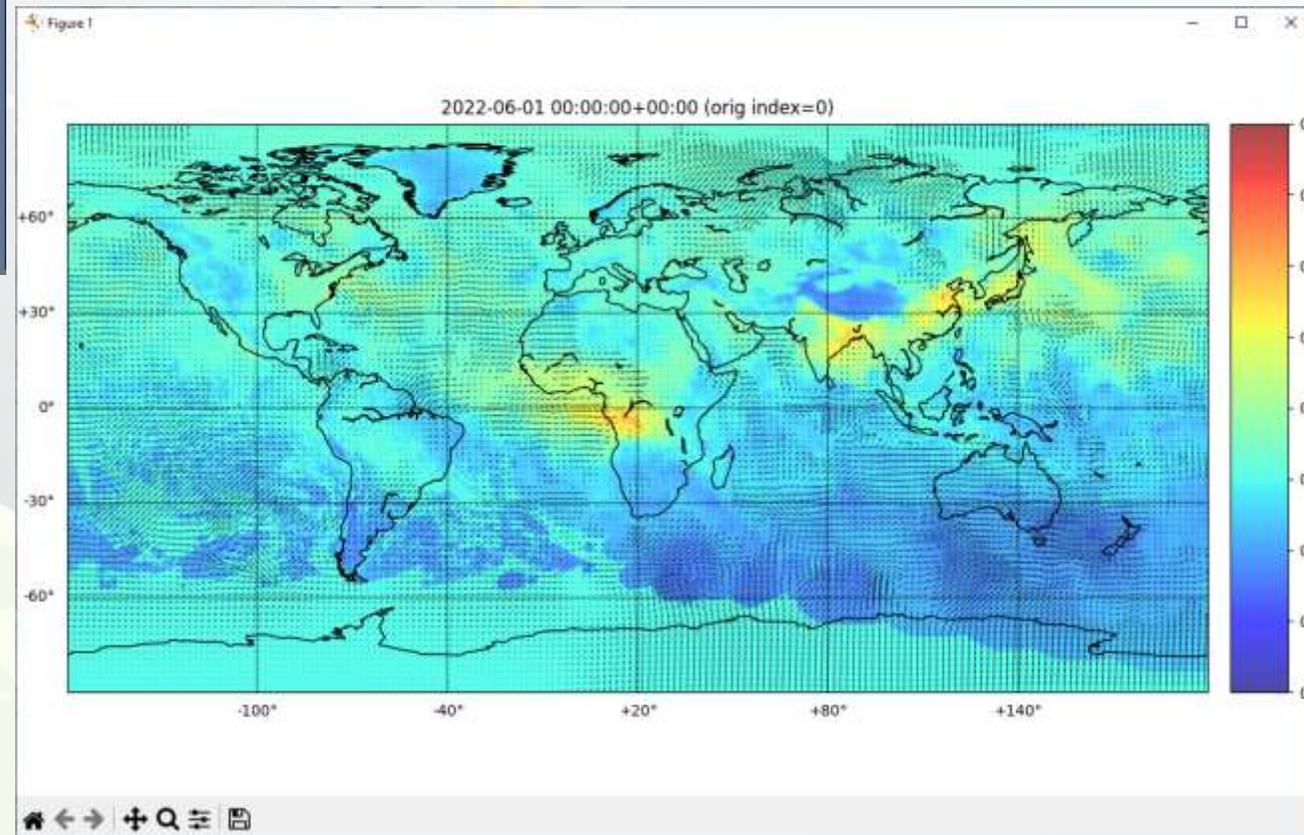
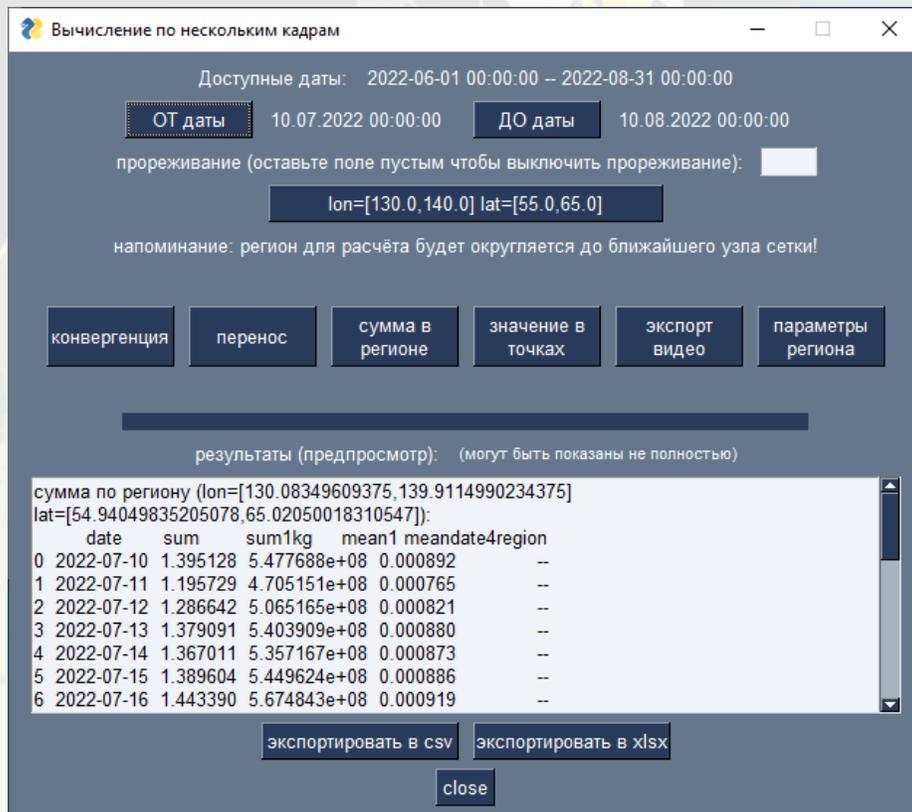
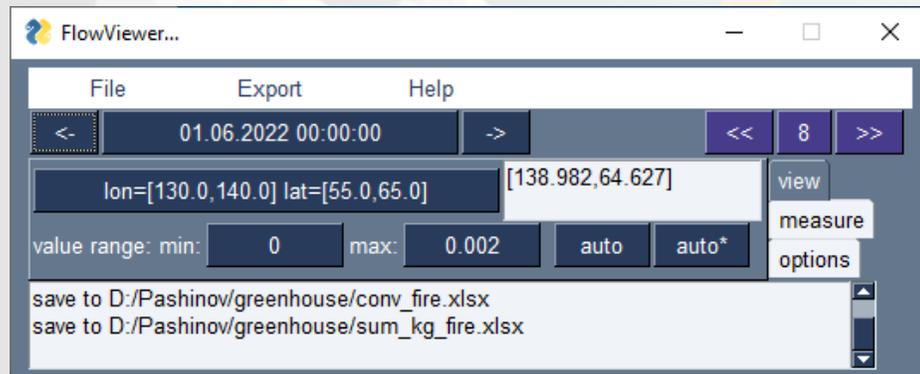


За интервал с 01.06.22 по 31.08.22:
накопленный выброс CO (оценка баланса)
накопленная интенсивность горения FRP

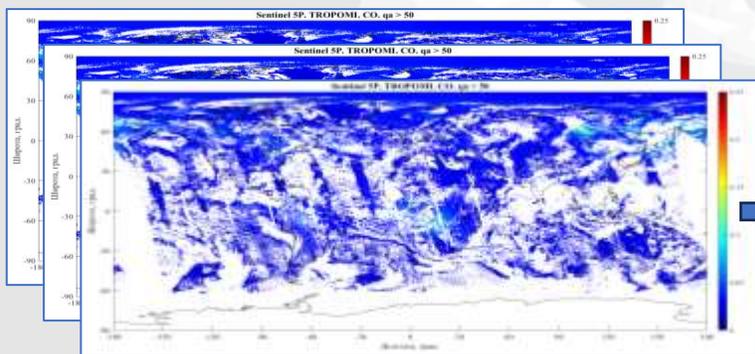
Выброс CO с 20.07.22 по 27.08.22:
по GFED совокупно – $2,42 \times 10^9$ кг;
по балансовой оценке – $2,42 \times 10^9$ кг.

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

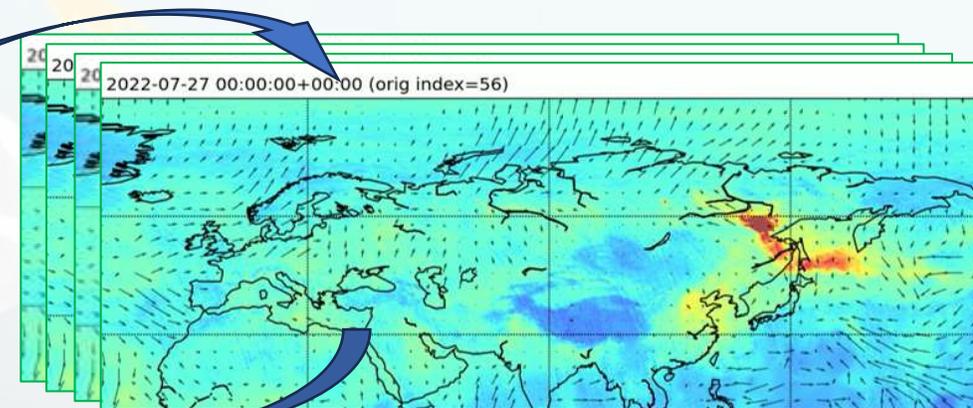
Программа «View Flow» – просмотрщик потоков парниковых газов



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



Данные спутникового мониторинга ПГ



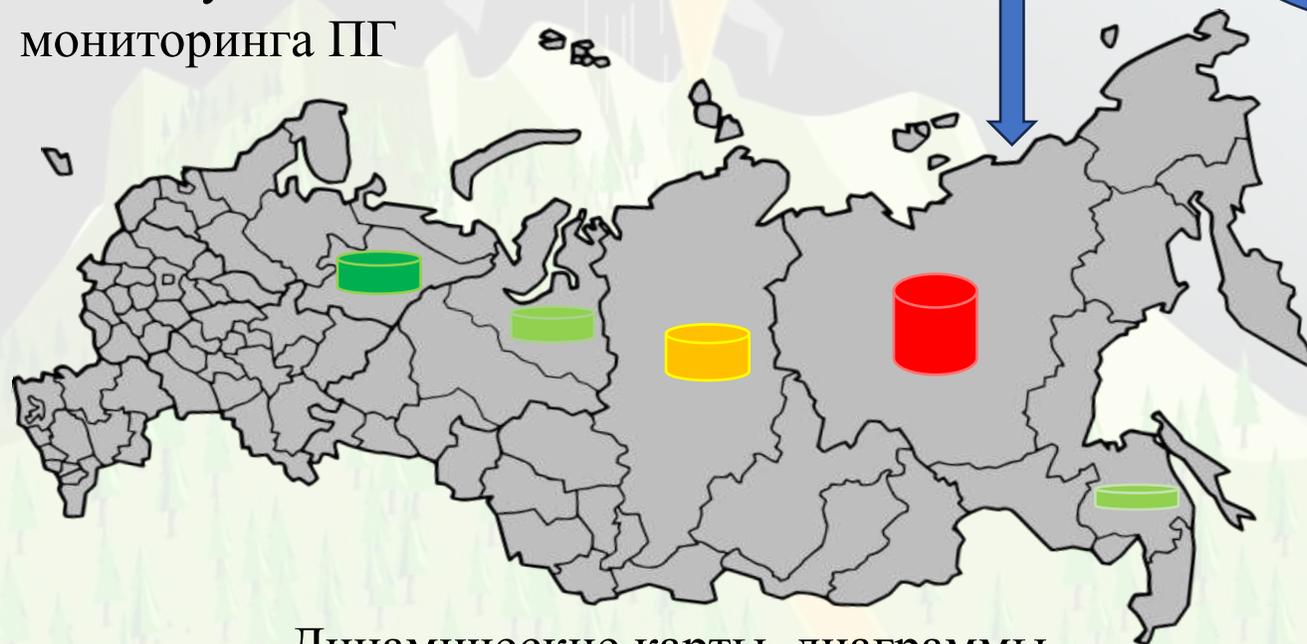
Первичные продукты: концентрации и горизонтальные потоки МГС, в т.ч., ПГ

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 среднесрочных
- дисперсии, тренды и т.д.



Динамические карты, диаграммы

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!