Разработка технологий и системы дистанционного научного мониторинга концентраций и потоков малых газовых составляющих атмосферы

Пашинов Е.В., Ермаков Д.М., Втюрин С. А., Лозин Д.В.

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

Измерение потоков малых газовых составлющих

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.

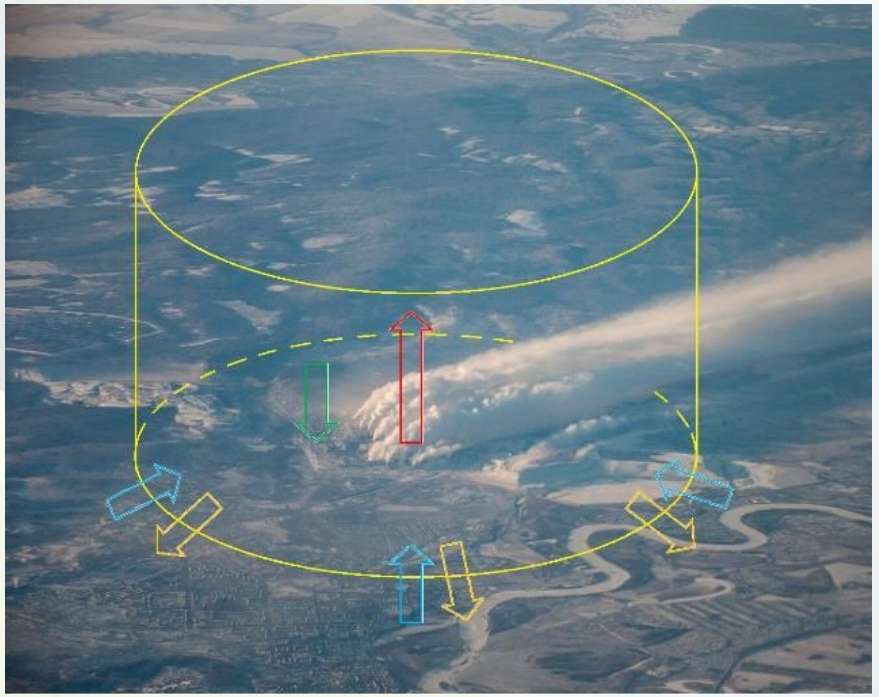
Предлагаемая методика балансовых расчётов

(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

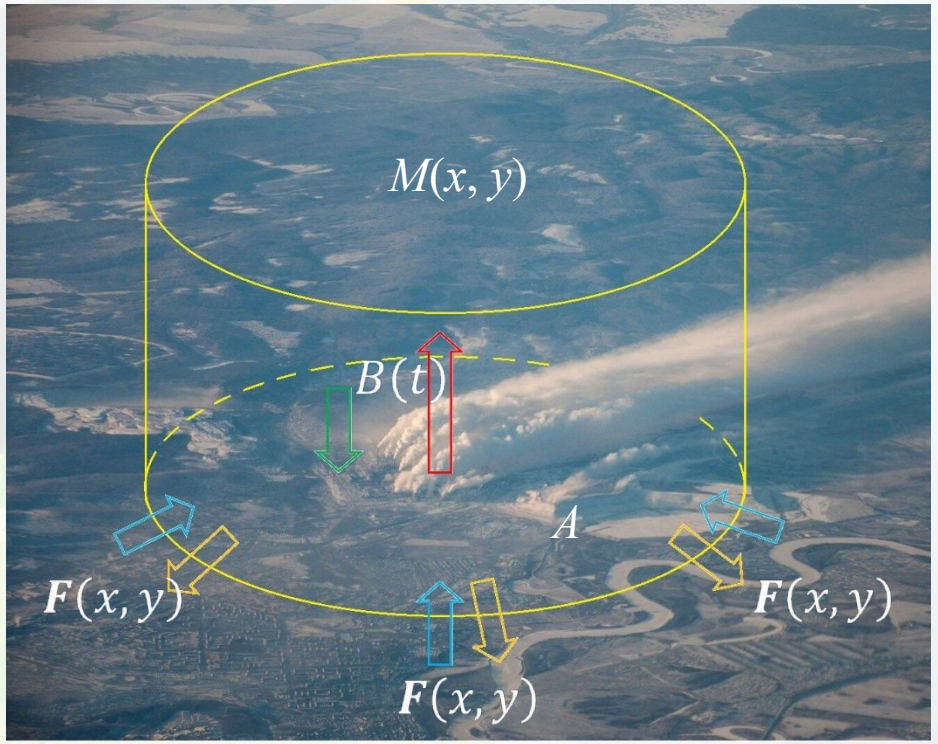


Предлагаемая методика балансовых расчётов

$$\int_{t_{min}}^{t_{max}} B(t)dt = -\iint_A M(x,y)dxdy\Big|_{t_{min}}^{t_{max}} - \int_{t_{min}}^{t_{max}} dt \oint_{\boldsymbol{p}} \boldsymbol{F}(x,y)d\boldsymbol{n},$$

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

где $\boldsymbol{t_{min}}$ и $\boldsymbol{t_{max}}$ – 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·м$^{-2}$; ***F*** – интегральный по высоте атмосферы горизонтальный поток ПГ в кг·м$^{-1}$·с$^{-1}$. $\boldsymbol{v}^*$ - эффективная (взвешенная по высоте атмосферы) скорость горизонтального переноса ПГ в м·с$^{-1}$.



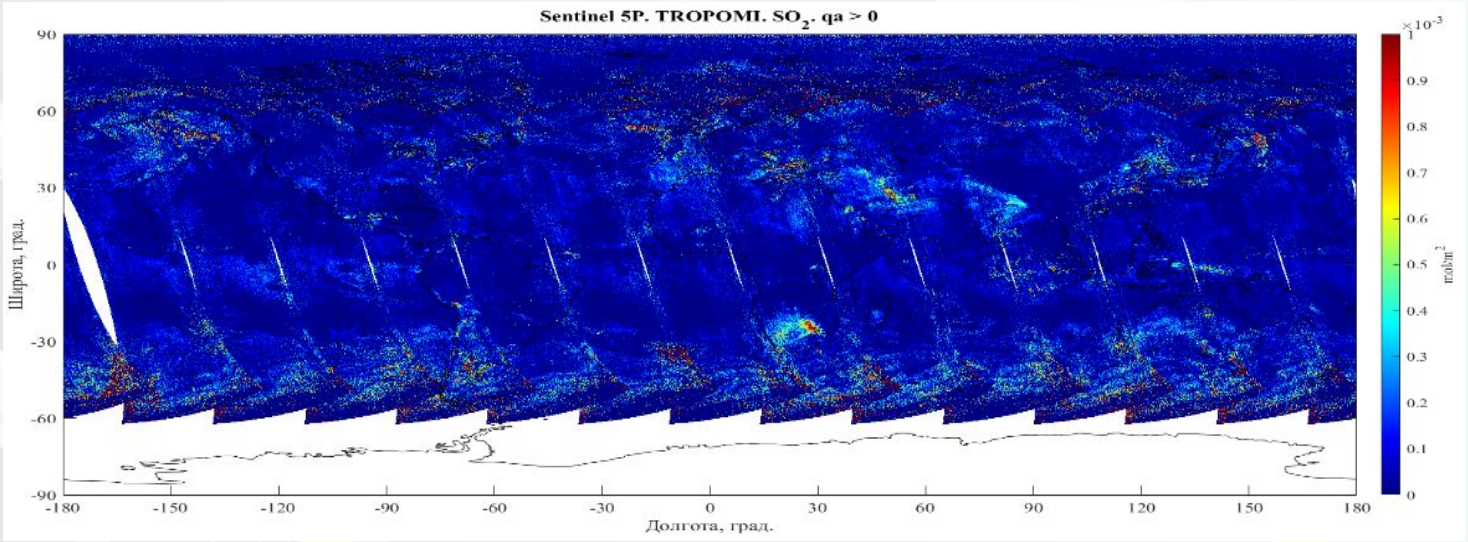
Потребности технологии непрерывного спутникового мониторинга

- Максимальный пространственный охват и площадь покрытия;
- Непрерывность и высокая периодичность наблюдений;
- Высокое пространственное разрешение;
- Однородность рядов данных по ключевым характеристикам;

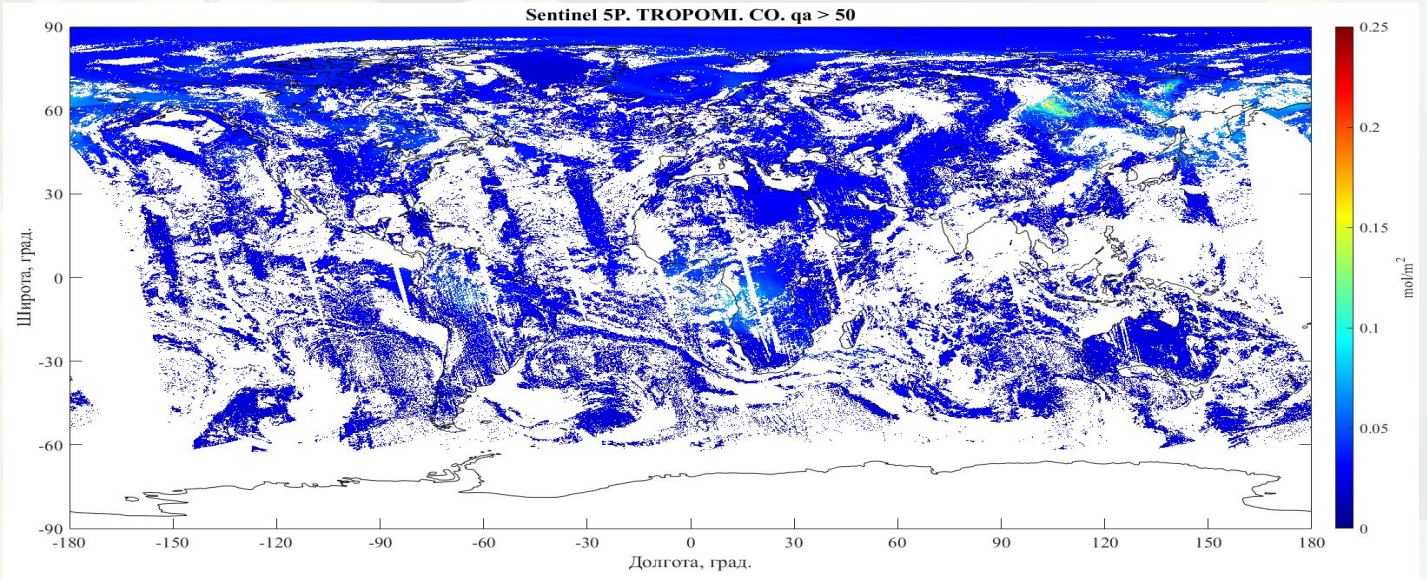
Подходящие спутниковые инструменты:

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_2O	0.0285%	-	-	-	-	0.334%	-
CO					35.35% (qa > 50) 49.4% (qa > 0)		

Выбор данных ДЗЗ для проверки методики



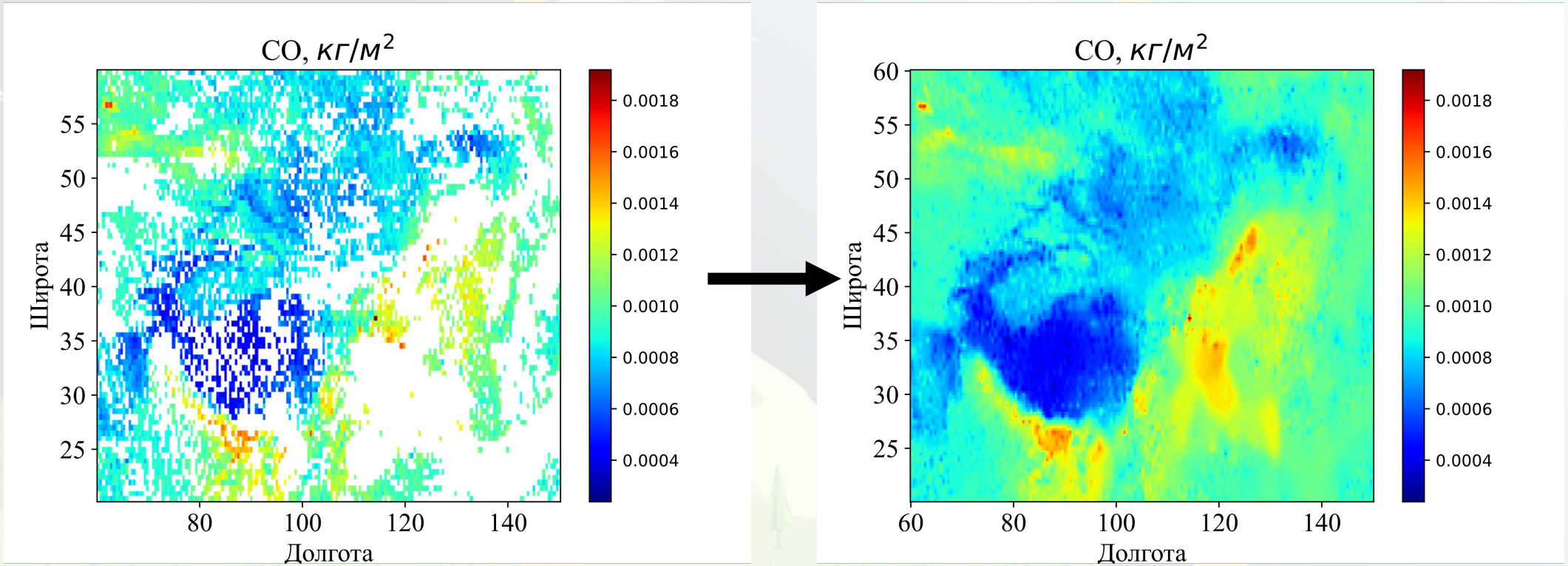
Данные по содержанию ПГ инструмента Tropomi в ЦКП «ИКИ Мониторинг»



Выбор данных ДЗЗ для отработки методики

Алгоритмы контекстного заполнения

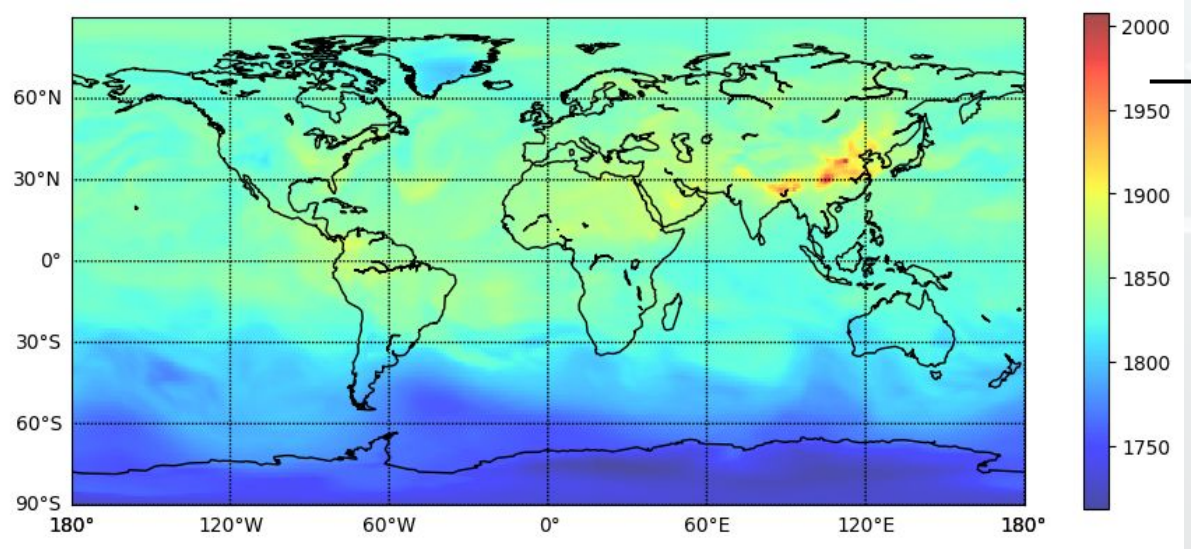
Fast marching method



Снижение разрешения с 0,1° × 0,1° до 0,25° × 0,25°

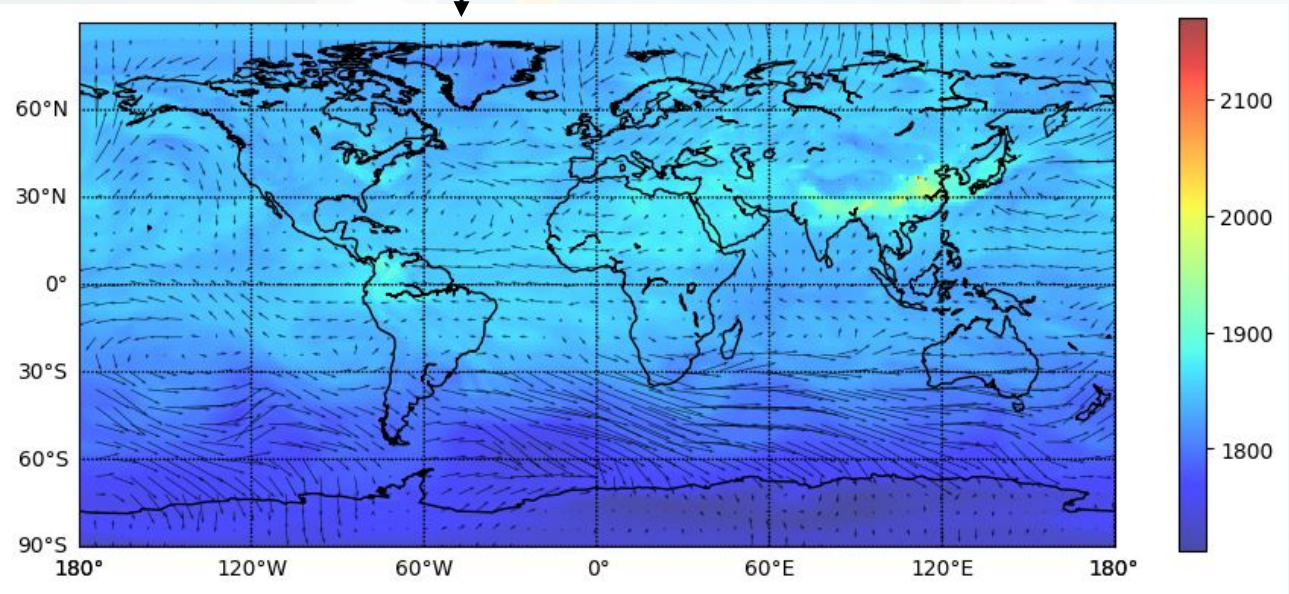
Восстановление горизонтальных потоков МГС

Использование методов технического зрения



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

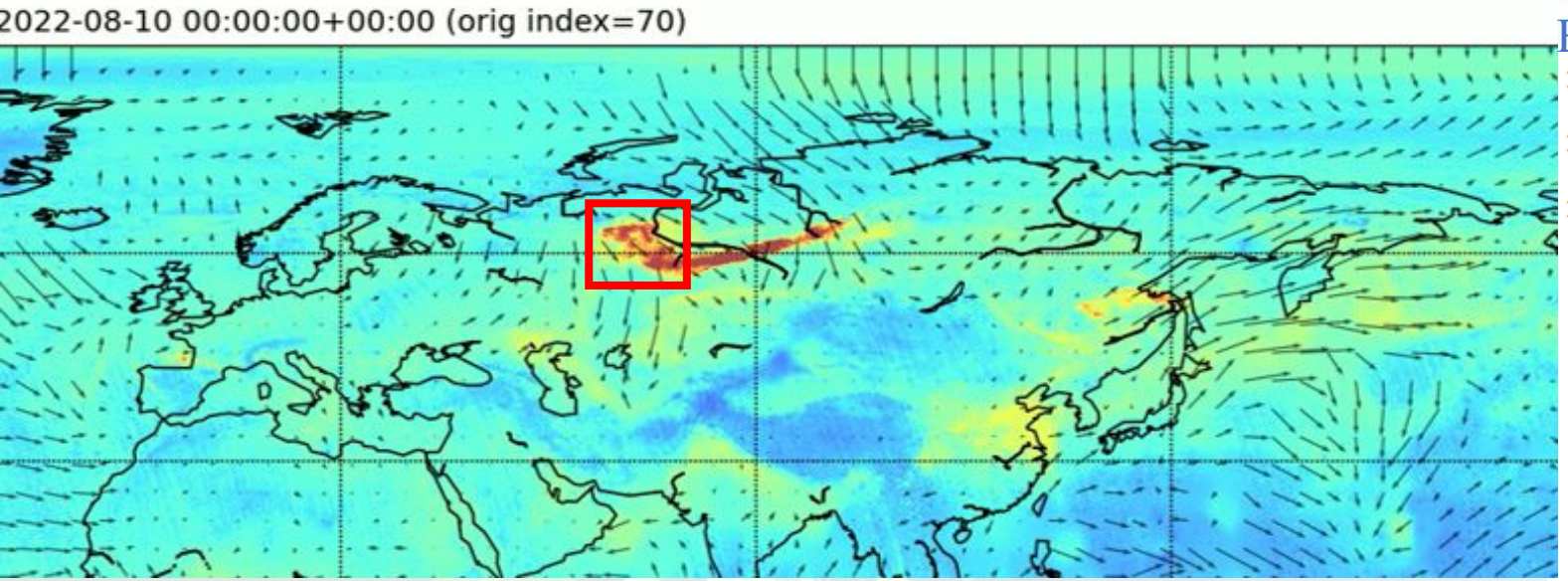
Алгоритм оценки оптического потока

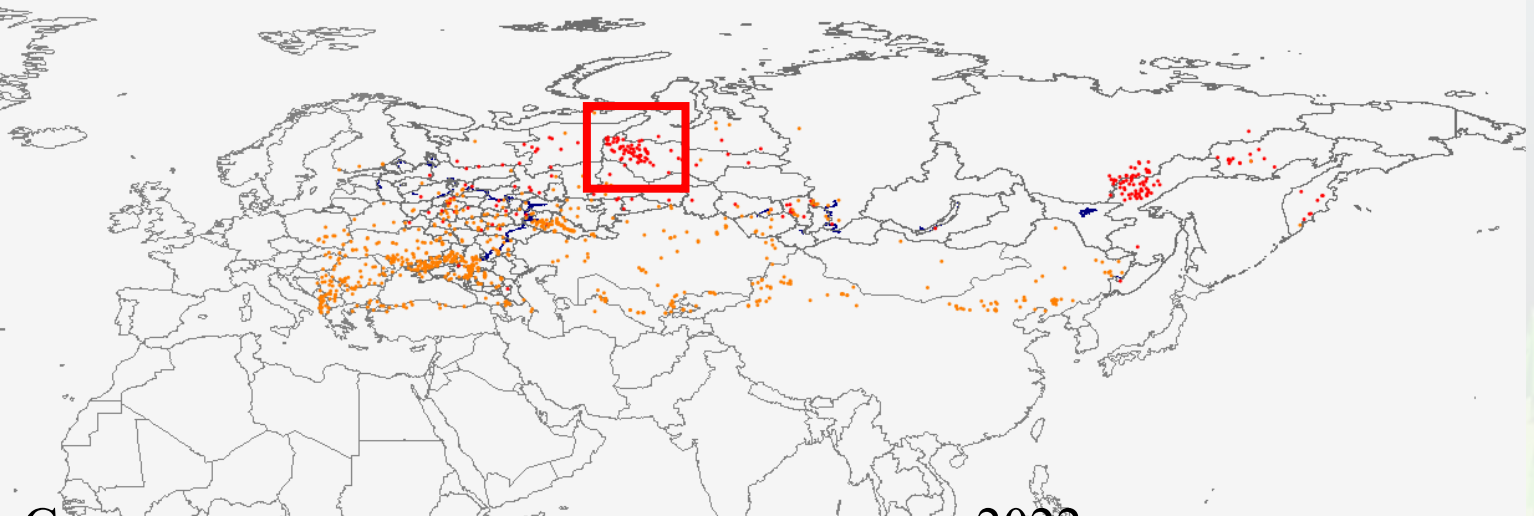


Используемый алгоритм оценки оптического потока – **DIS** (Dense Inverse Search).

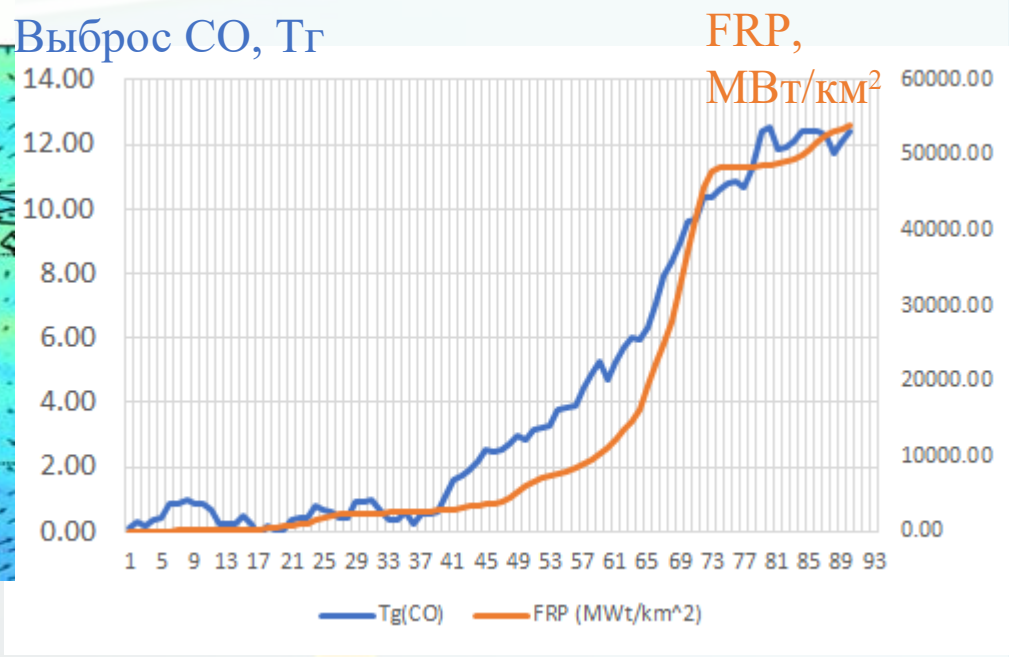
Между двумя соседними по времени спутниковыми изображениями строится поле векторов смещения всех элементов (пикселей), которое наилучшим образом объясняет наблюдаемые изменения.

Восстановление баланса CO (выброса) в области сильных лесных пожаров





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



За интервал с 01.06.22 по 31.08.22:

накопленный выброс CO (оценка баланса)

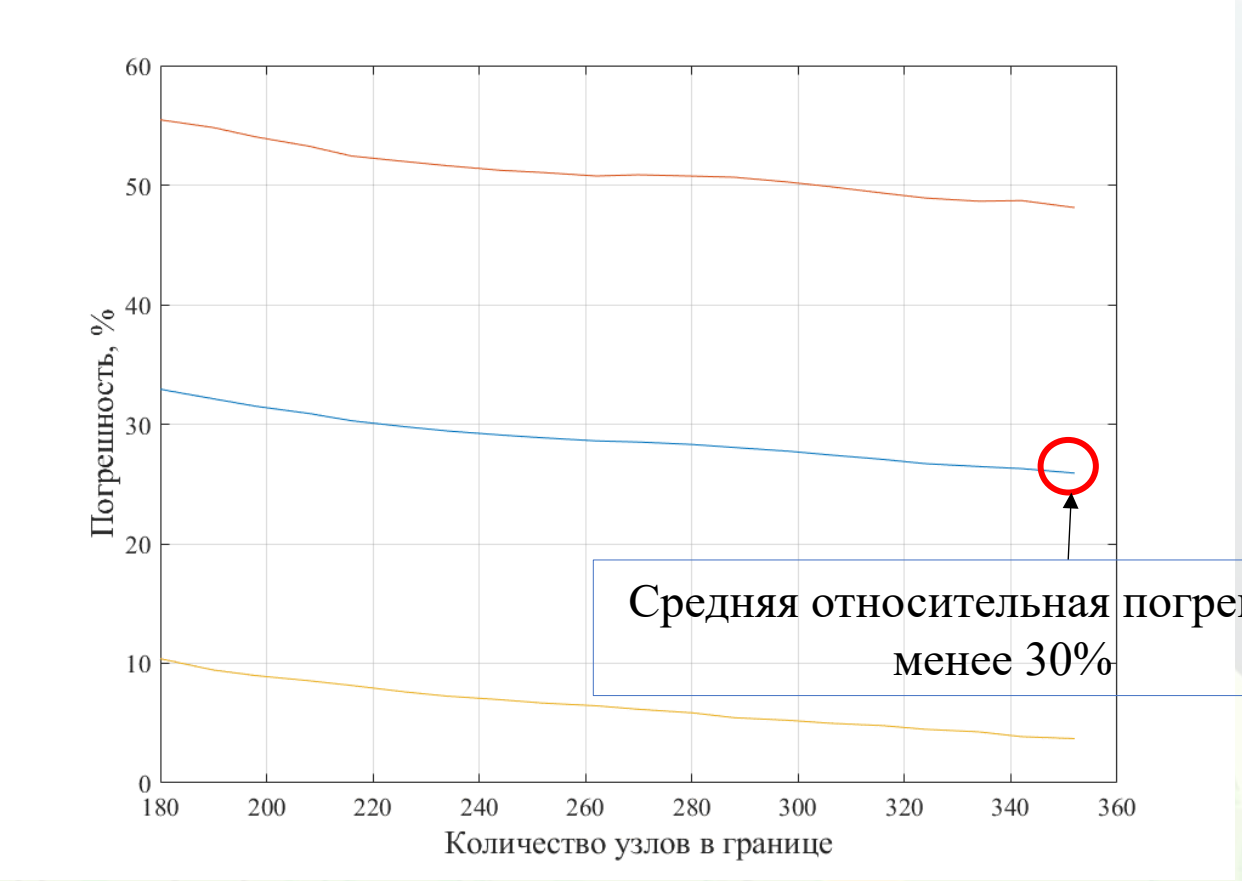
накопленная интенсивность горения FRP

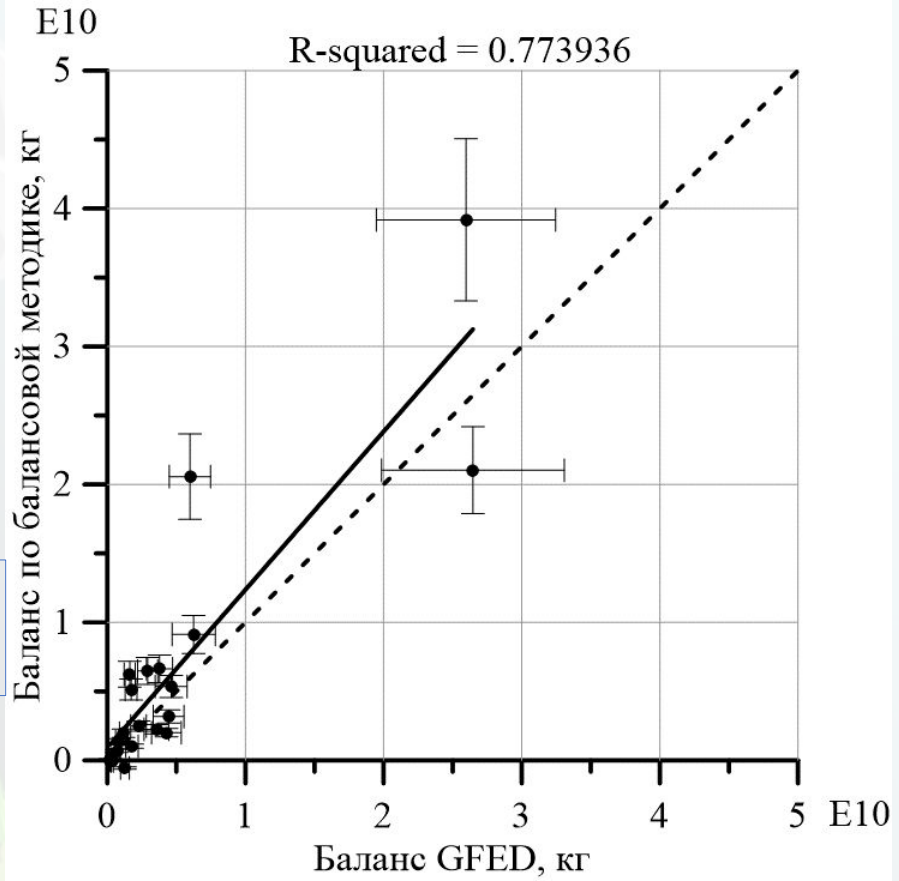
Выброс CO с 20.07.22 по 27.08.22:

по GFED совокупно – $2{,}42\times10^9$ кг;

по балансовой оценке – **$2{,}42\times10^9$ кг**.

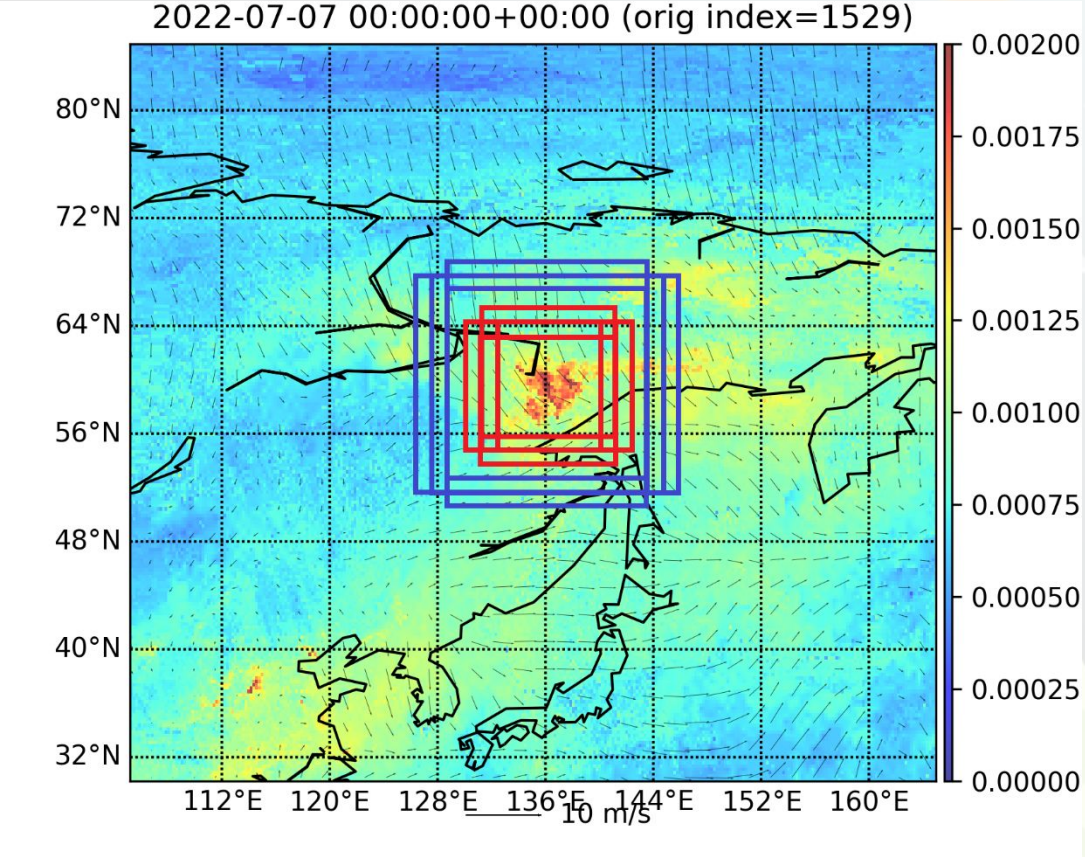
Предварительная оценка погрешности методики в области лесных пожаров



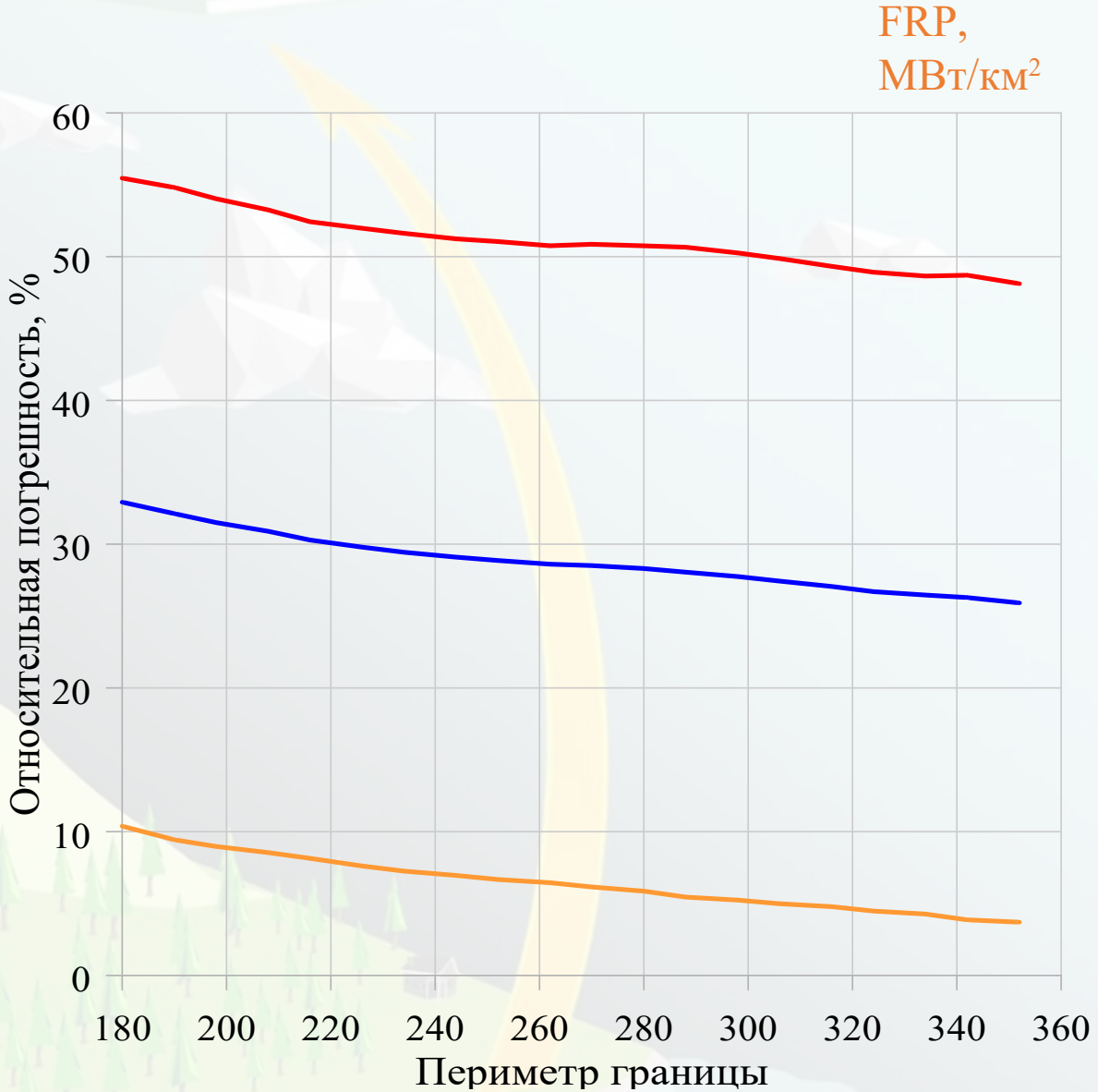


Анализ 21 лесного пожара в период с 2018 по 2023 годы, происходивших в Сибири и Канаде

Предварительная оценка погрешности методики в области лесных пожаров

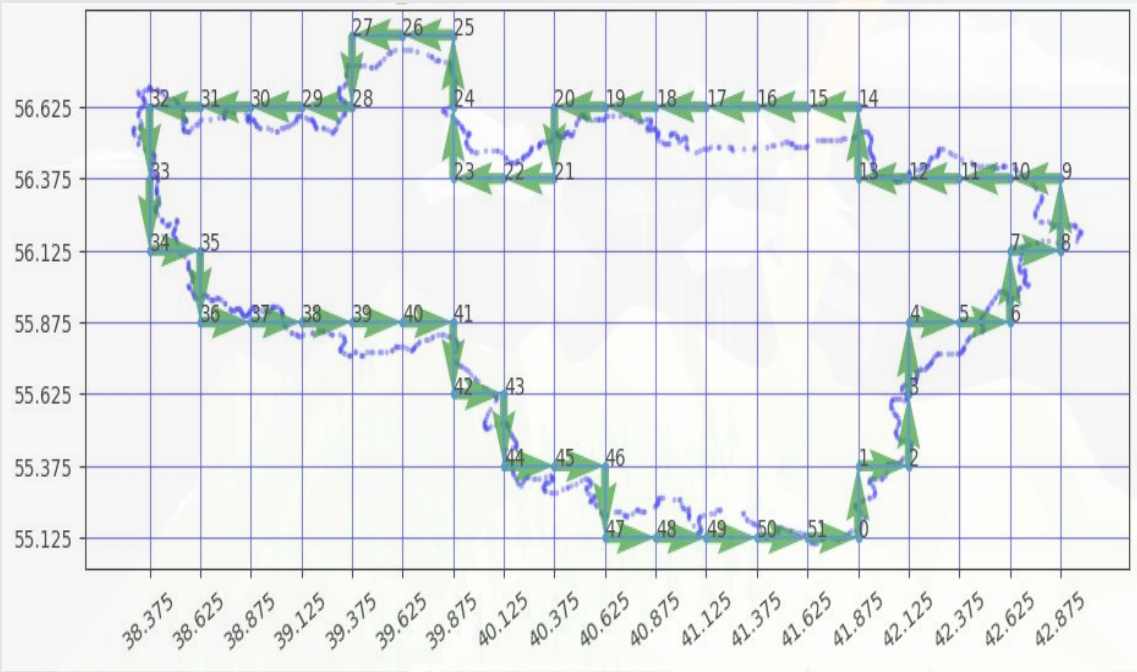


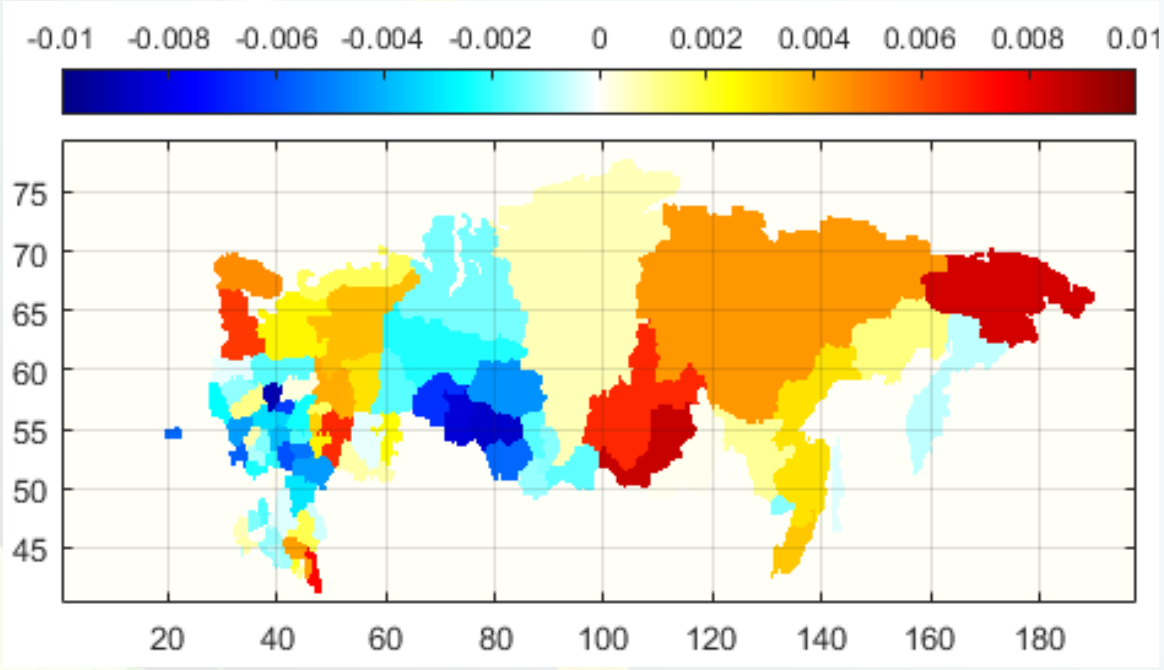
$$\varepsilon_B \sim \frac{1}{\sqrt{N_L}} \qquad \varepsilon_B = \frac{\sigma}{\sqrt{B_i}}$$



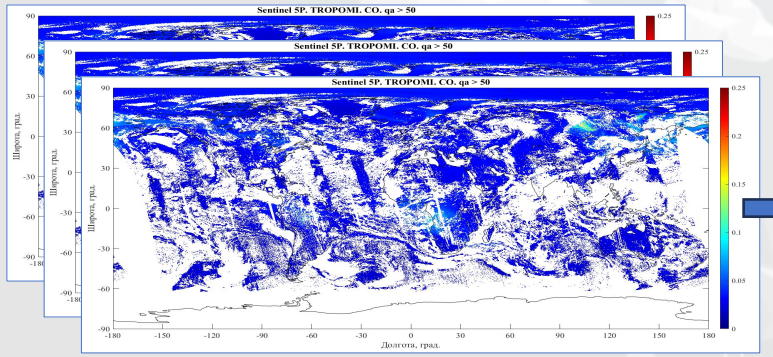
Расчёт баланса CO и водяного пара по границам регионов

Баланс для 99 регионов РФ угарного газа за период с 2018 по 2023 и водяного пара с2012 по 2023 г



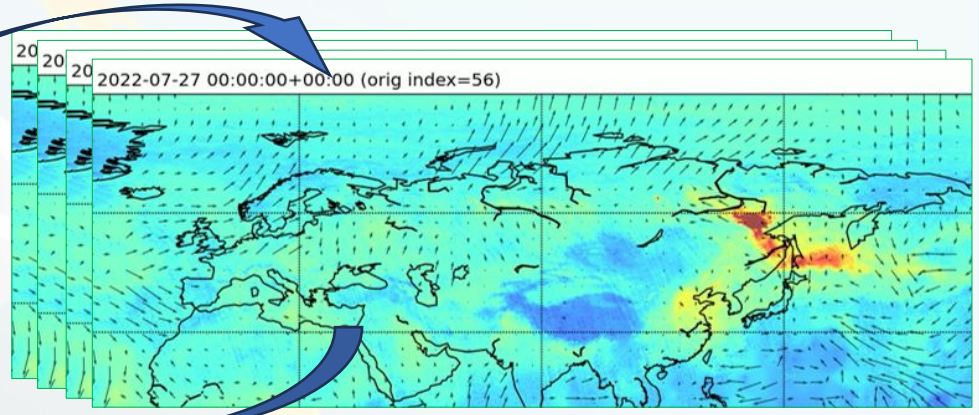


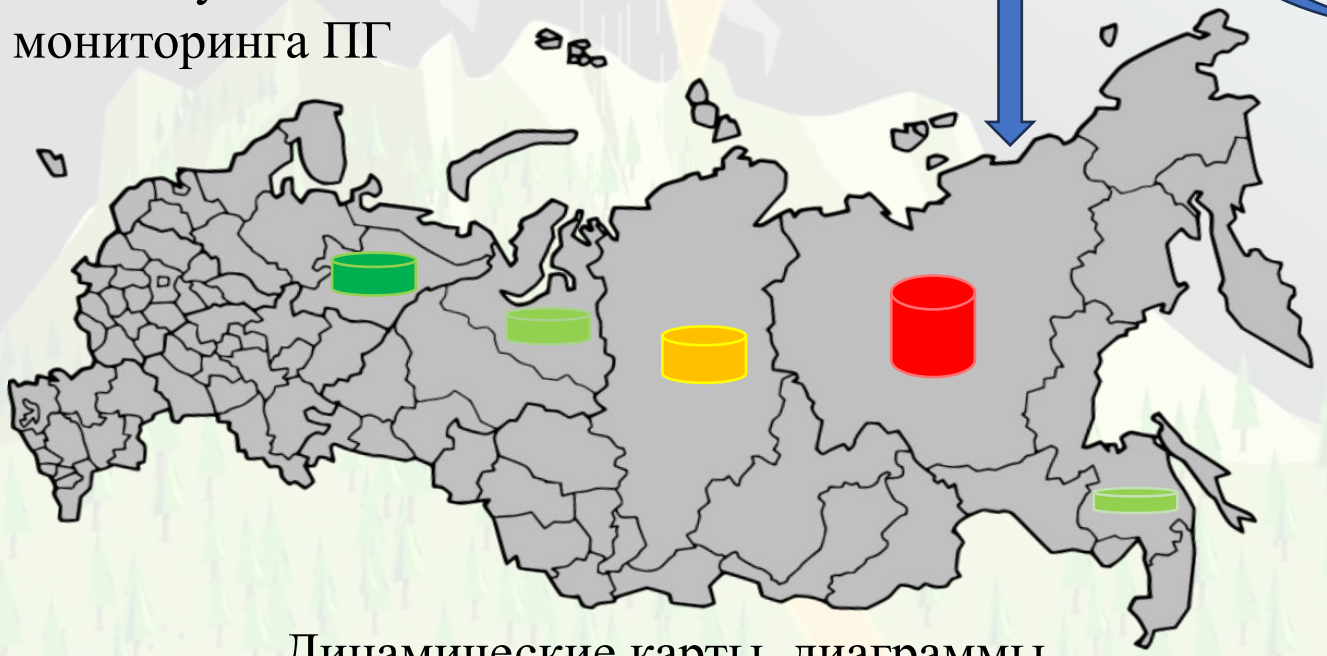
Создание архивов спутниковых данных и информационных продуктов о распределениях и потоках климатически активных газов



Данные спутникового мониторинга ПГ

ЦКП «ИКИ-Мониторинг»





Динамические карты, диаграммы

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.

ИАС «Углерод-Э» ЦКП «ИКИ-мониторинг»

Главная > ИАС «Углерод-Э» > BI-аналитика > Глобальные продукты по газам (Россия годовой)

Евгений Пашинов | Русский | ?

таблица (абсолютные значения) | таблица (нормированные значения) | график | карта (абсолютные значения) | карта (нормированные з

Навигатор полей

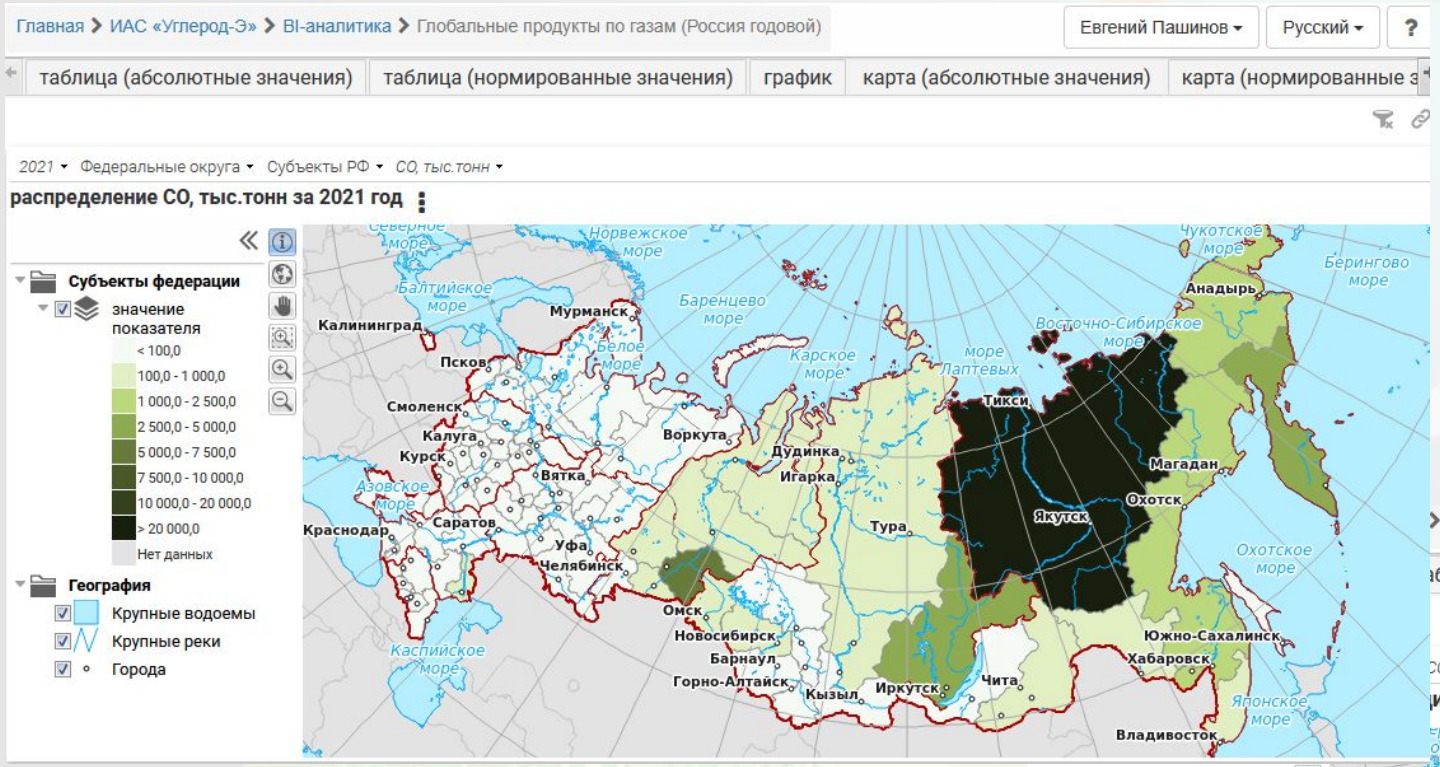
таблица (абсолютные значения)

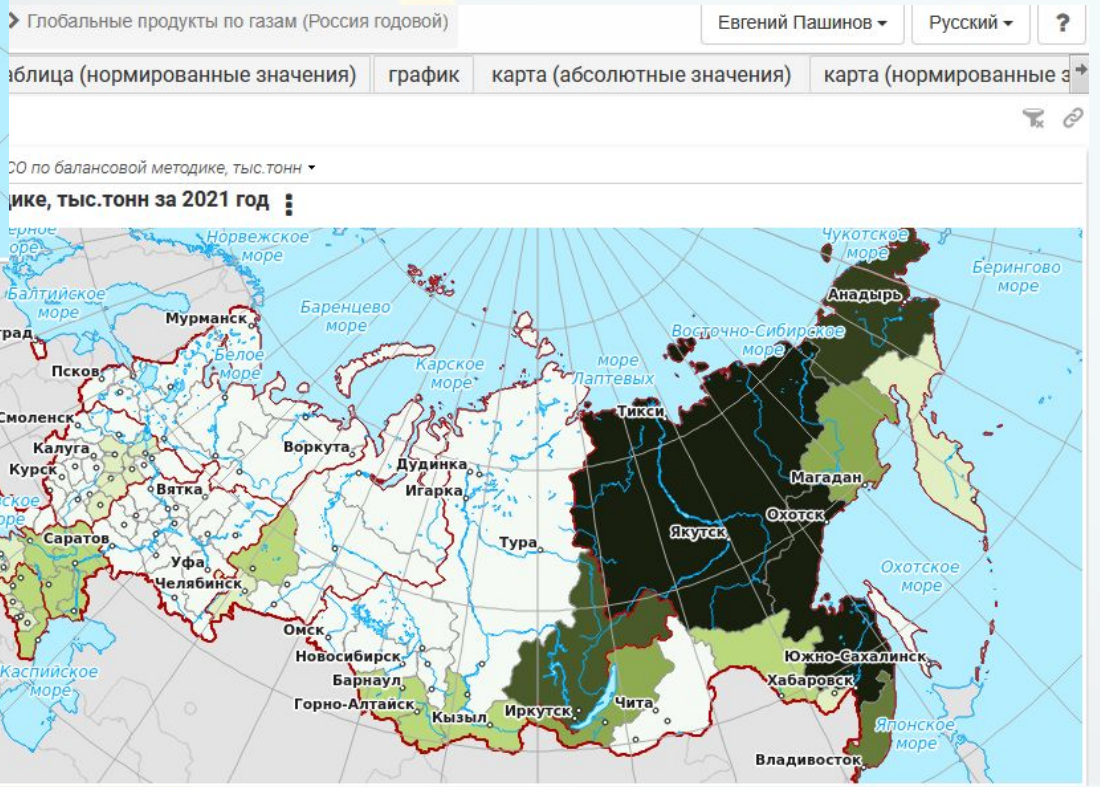
годы | показатель

2023

Субъекты РФ	BC, тыс.тонн	C, тыс.тонн	CH4, тыс.тонн	CO по балансовой методике, тыс.тонн	CO, тыс.тонн	CO2, тыс.тонн	FRP, ТДж	NOx, т
Амурская область	16.3	15 866.9	197.3	1 233.2	3 621.2	50 882.7	20 546.3	
Архангельская область	0.1	76.3	1.3	0.0	19.4	241.0	107.6	
Астраханская область	2.0	1 913.1	12.9	18.2	301.7	6 424.4	6 357.6	
Белгородская область	0.0	9.3	0.2	0.0	2.1	29.7	77.9	
Брянская область	0.1	63.3	0.8	0.0	10.9	210.9	332.4	
Владимирская область	0.0	10.7	0.1	0.0	1.9	35.7	31.7	
Волгоградская область	0.2	146.8	2.1	0.0	27.2	484.6	889.3	
Вологодская область	0.1	53.8	0.3	0.0	7.2	183.4	150.7	
Воронежская область	0.0	22.0	0.5	0.0	5.0	70.6	186.4	
Донецкая Народная Республика	0.1	104.6	1.5	0.0	19.8	344.2	659.4	
Еврейская автономная область	0.6	2 280.8	69.4	372.2	738.1	6 924.1	3 393.5	
Забайкальский край	4.6	3 995.7	38.5	762.9	852.0	12 921.8	5 495.4	
Запорожская область	0.1	101.2	1.9	0.0	21.8	327.3	792.7	

ИАС «Углерод-Э» ЦКП «ИКИ-мониторинг»





Спасибо за внимание!

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