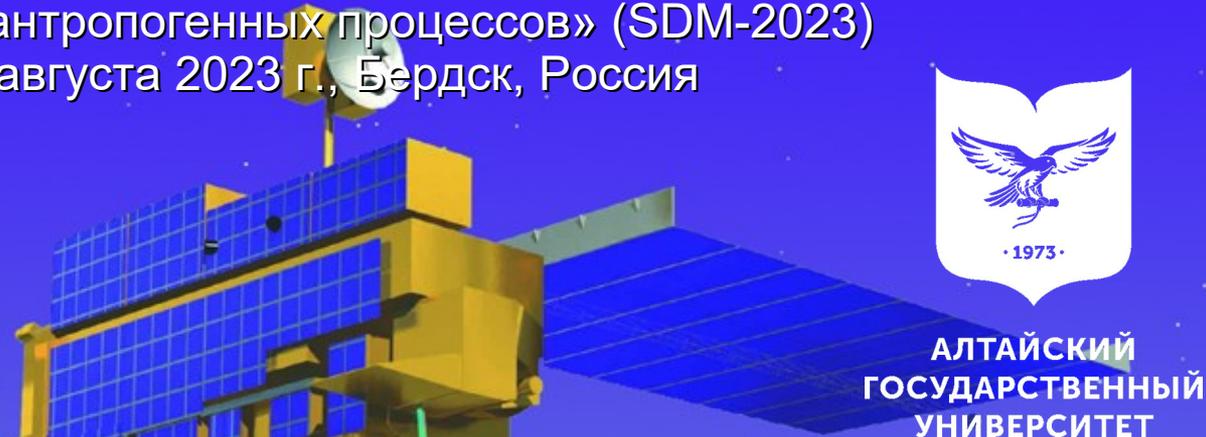


Всероссийская конференция с международным участием  
«Обработка пространственных данных в задачах мониторинга  
природных и антропогенных процессов» (SDM-2023)  
22-25 августа 2023 г., Бердск, Россия



АЛТАЙСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Космический мониторинг парниковых газов в Западной Сибири: технологии и результаты

А.А. Лагутин, Н.В. Волков, Е.Ю. Мордвин, В.В. Синицин

lagutin@theory.asu.ru

## Направления исследований

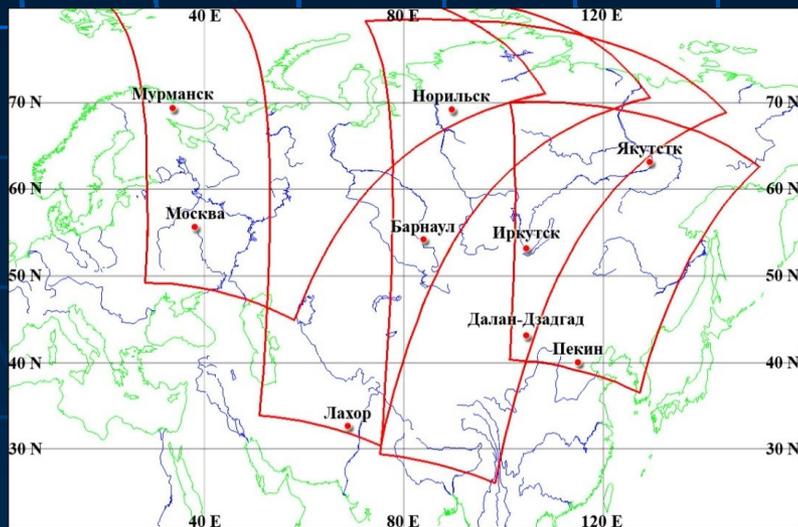
- 1. Создание новых методик, расчетных алгоритмов и программно-аппаратных средств в целях расширения перечня наблюдаемых параметров, объектов и процессов, а также увеличения точности результатов космического мониторинга;*
- 2. моделирование характеристик как региональной климатической системы в контексте глобальных климатических трендов, так и отдельных параметров (метана) глобальной системы;*
- 3. разработка методики оценки баланса углерода в естественных ценозах и на землях сельскохозяйственного назначения юга Западной Сибири по данным спутниковых наблюдений, установление перспективных технологий для низкоуглеродной сельскохозяйственной индустрии региона.*

# Техническая и информационная база мониторинга

## Станции приёма спутниковой информации



## Территория, покрываемая MODIS/Terra в дневное время



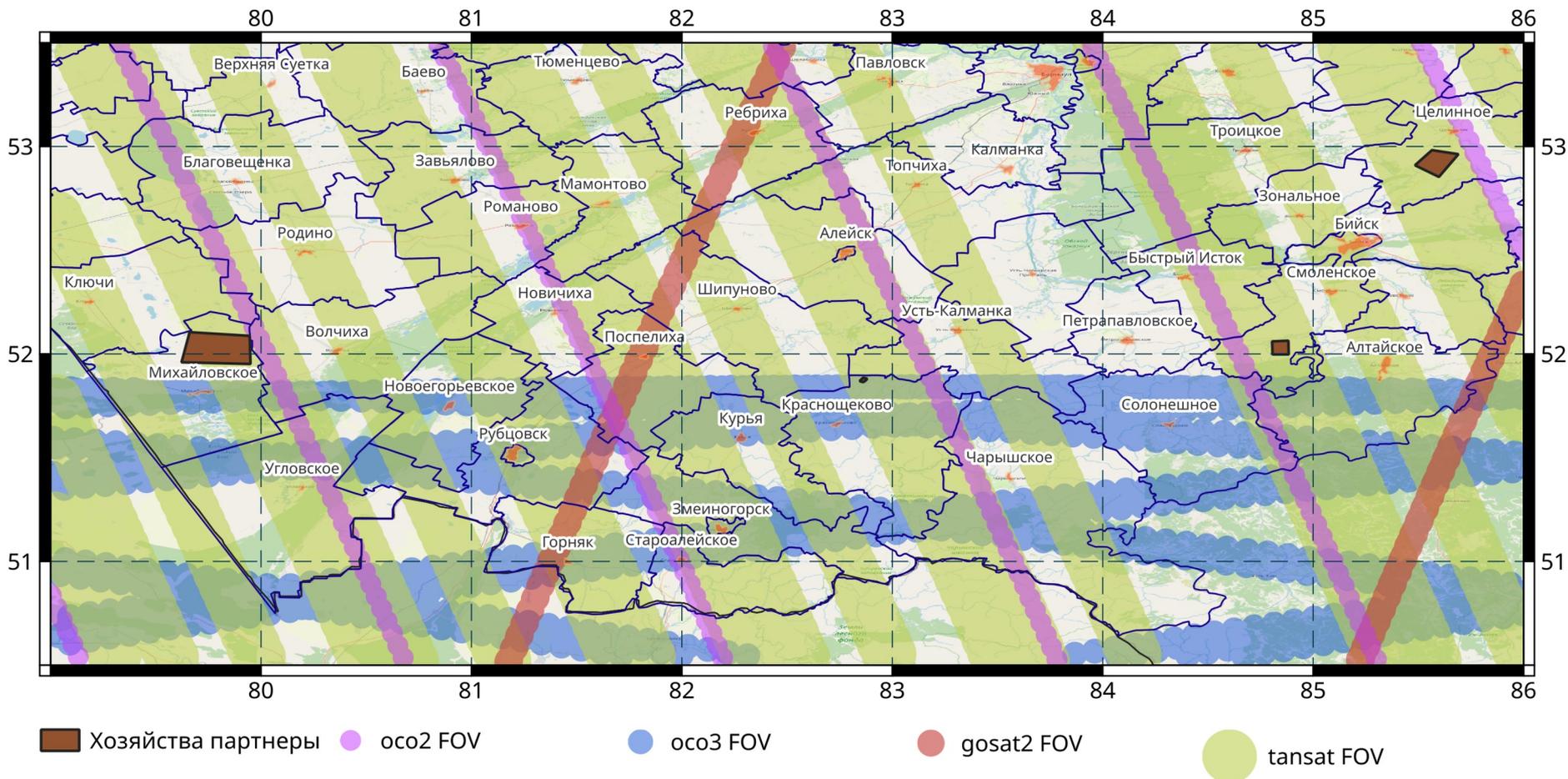
## Спутниковые платформы и приборы, данные которых принимаются в АлтГУ

Платформы	Приборы
Terra	MODIS
Aqua	AIRS
Suomi-NPP	VIIRS
NOAA-20	ATMS
NOAA-21	CRIS
	OMPS

## Спутниковые платформы и приборы, данные которых используются в АлтГУ

Платформы	Приборы
Канопус-В №6	TROPOMI
Landsat-8/9	OLI
Sentinel-5P	TIRS
OCO-2	ECOSTRESS
OCO-3 (ISS)	
ECOSTRESS (ISS)	

# Территория Алтайского края, покрываемая специализированными карбоновыми обсерваториями

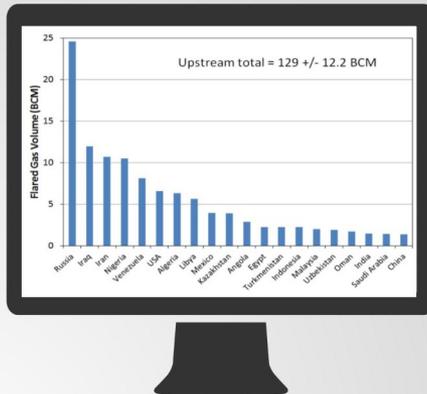


# Технология мониторинга высокотемпературных термальных аномалий

## СЖИГАНИЕ ПОПУТНОГО ГАЗА – ГЛОБАЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА

\*по данным National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)

2015	год	88	стран мира
13 605	факельных установок	Россия	лидер по объему сжигаемого попутного газа.



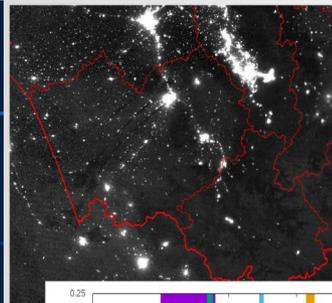
**Факельные установки**

сжигается более 140 млрд м<sup>3</sup> газа

выбрасывается в атмосферу ~300 млн. т CO<sub>2</sub>

Elvidge C.D., Zhizhin M., Baugh K. et al. Methods for global survey of natural gas flaring Visible Infrared Imaging Radiometer Suite data // Energies, 2016.

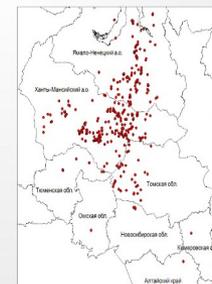
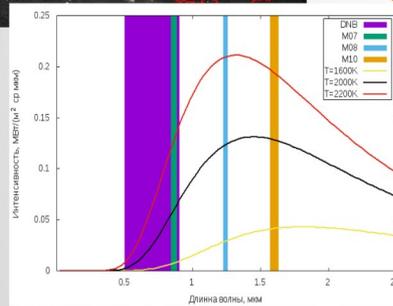
## ПОИСК И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕРМАЛЬНЫХ АНОМАЛИЙ



В темное время суток весь поток уходящего из атмосферы в видимом и ближнем ИК-диапазонах электромагнитного излучения является, в основном, собственным излучением температурных аномалий.



Интенсивность излучения, регистрируемая каналами VIIRS, можно представить в виде произведения функции Планка при температуре источника и масштабирующего коэффициента, который содержит информацию о доле пикселя, занимаемого источником.



Lagutin A.A. et al. Estimation of natural gas flaring volume at the Western Siberia flares using satellite night-time data in the visible and near-infrared range // CEUR WP, 2019.

# Оценки объема сжигаемого попутного нефтяного газа и эмиссии $\text{CH}_4$ и $\text{CO}_2$

ОЦЕНКА ОБЪЕМА СЖИГАЕМОГО ГАЗА. ВКЛАД ФУ В 2019 г.

Масса сжигаемого метана

№	Субъект РФ	Количество источников	V, млрд.м <sup>3</sup>	M, Тг/год
1	Томская область	26	0.87	0.38
2	Тюменская область	12	0.43	0.18
3	Ханты-Мансийский а.о.	131	5.11	2.19
4	Ямало-Ненецкий а.о.	131	8.15	3.49
	Всего источников	300	14.59	6.25

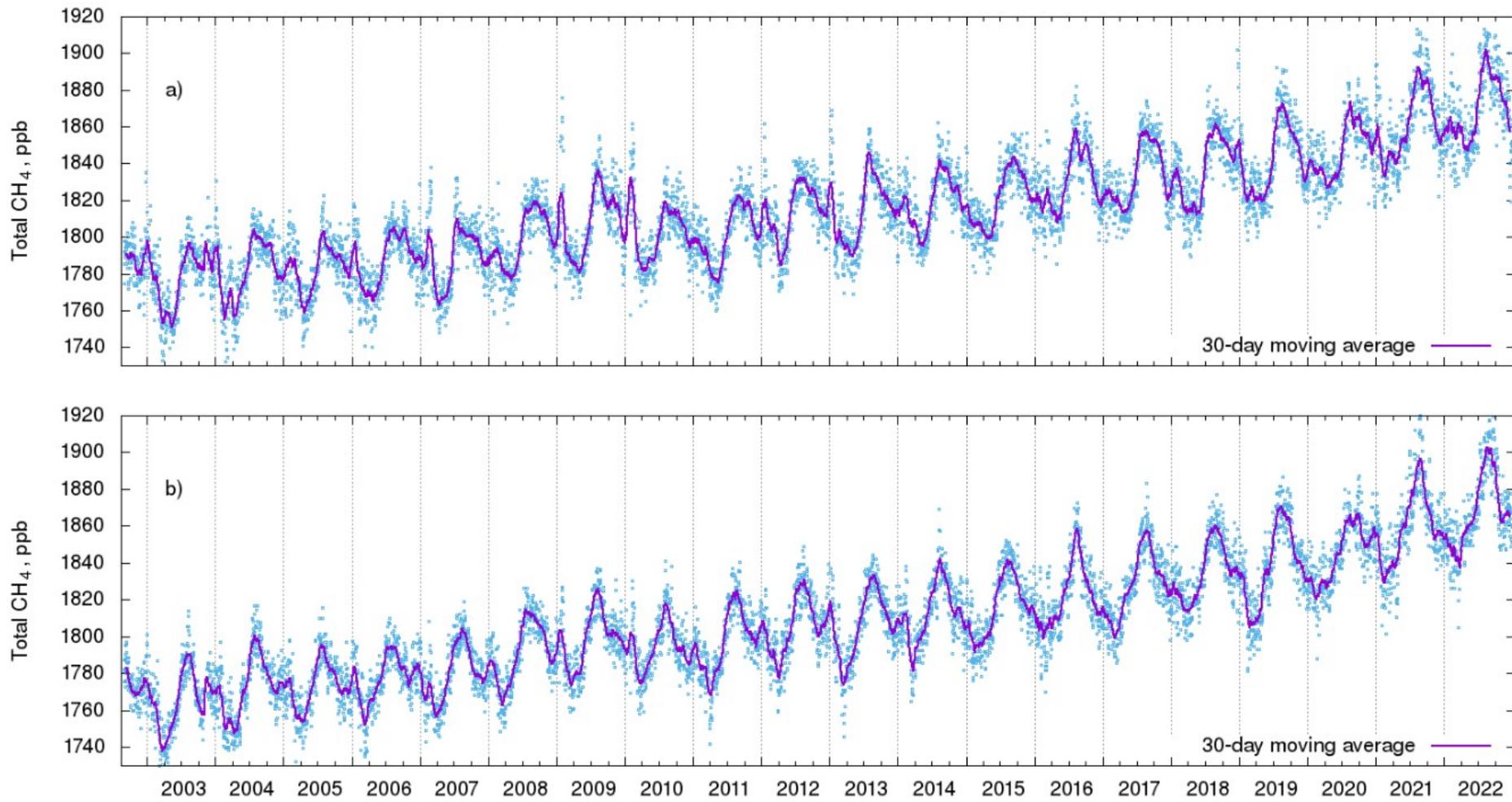
Эмиссия  $\text{CH}_4$  и  $\text{CO}_2$

№	Субъект РФ	Количество источников	$\text{CH}_4$ , Тг/год	$\text{CO}_2$ , Тг/год
1	Томская область	26	0.019	0.36
2	Тюменская область	12	0.0091	0.17
3	Ханты-Мансийский а.о.	131	0.11	2.08
4	Ямало-Ненецкий а.о.	131	0.17	3.32
	Всего источников	300	0.31	5.94

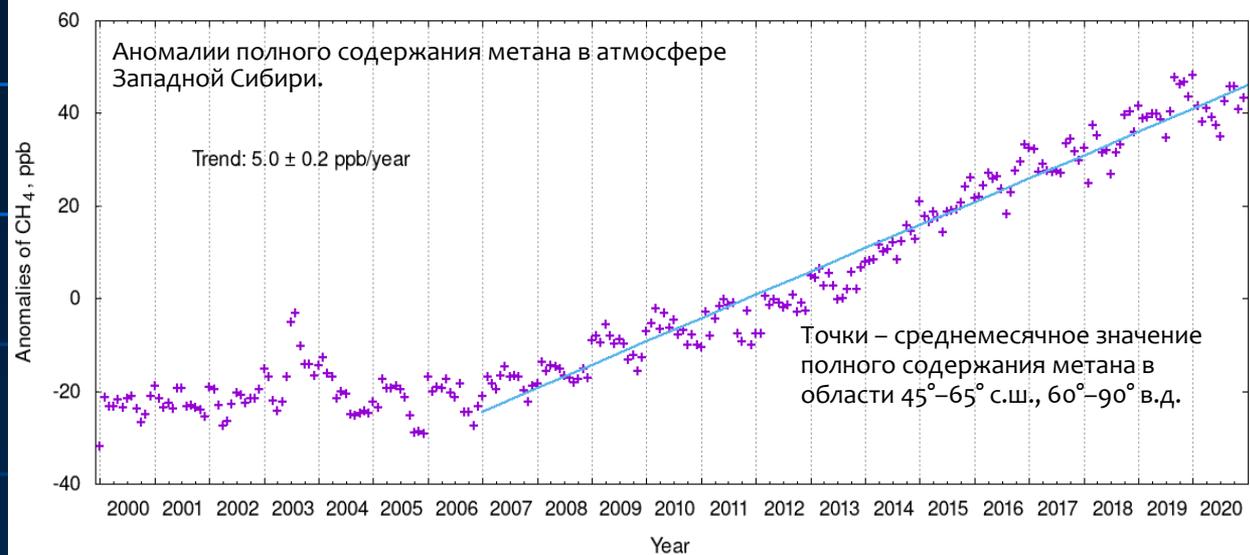
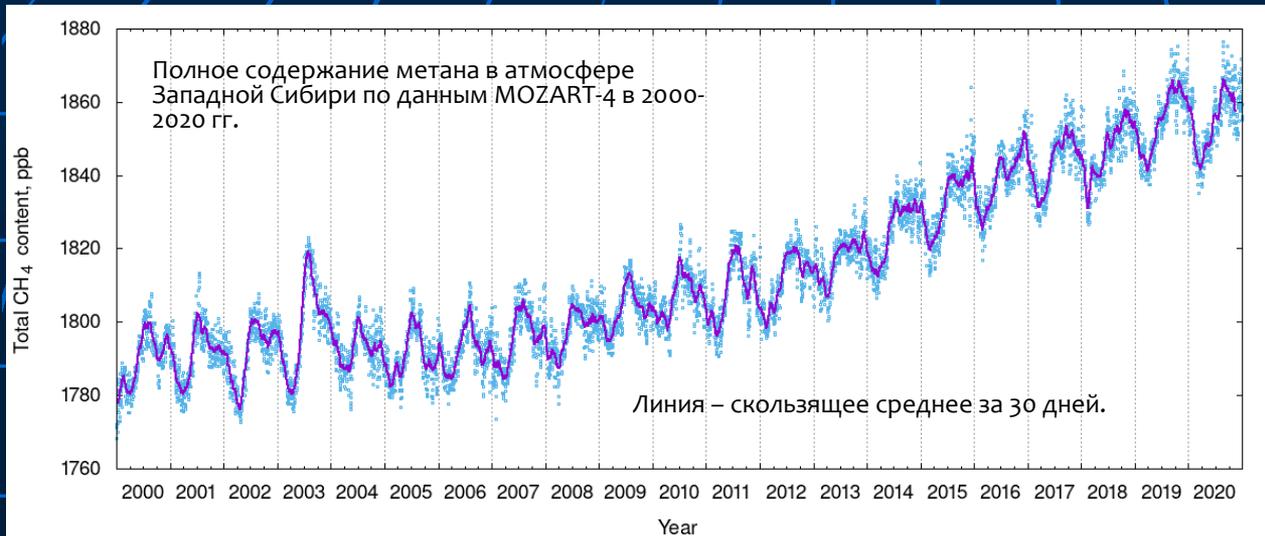
Реализована технология оценки эмиссии метана предприятиями нефтяной промышленности на территории Западной Сибири. Установлено, что эмиссия метана в 2019 г. составляет ~ 3.1 Тг/год.

По данным Shen Lu. et al. // Nat. Comm., V.14, art. no. 4948, 16 aug. 2023. эмиссия метана нефтегазовым сектором России составляет ~9.4 Тг/год.

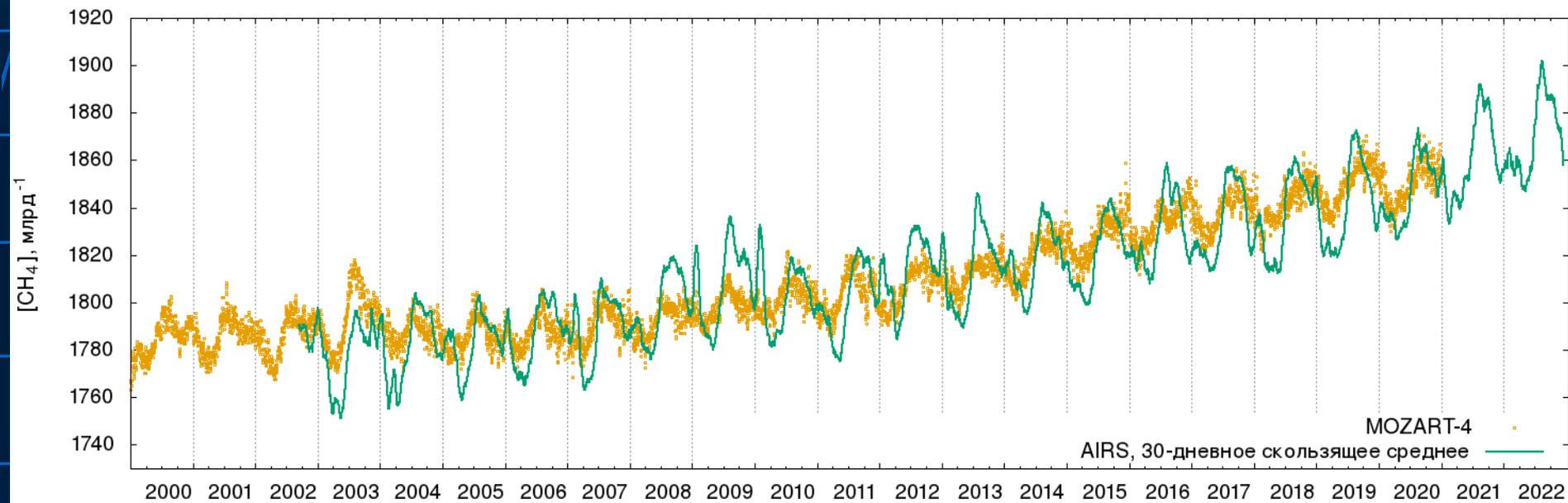
# Содержание метана в атмосфере Западной Сибири по данным AIRS



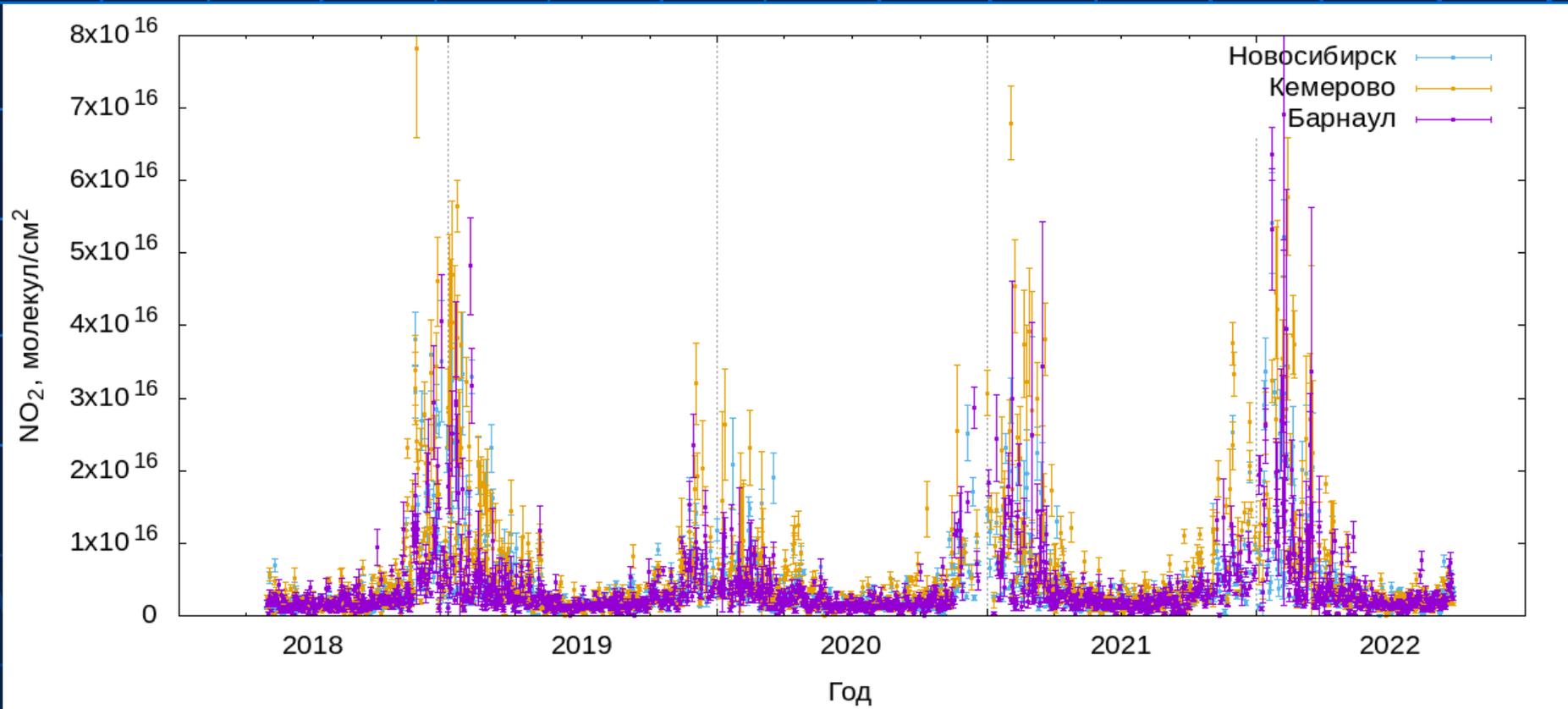
# Содержание метана в атмосфере Западной Сибири по данным глобальной транспортной химической модели MOZART-4



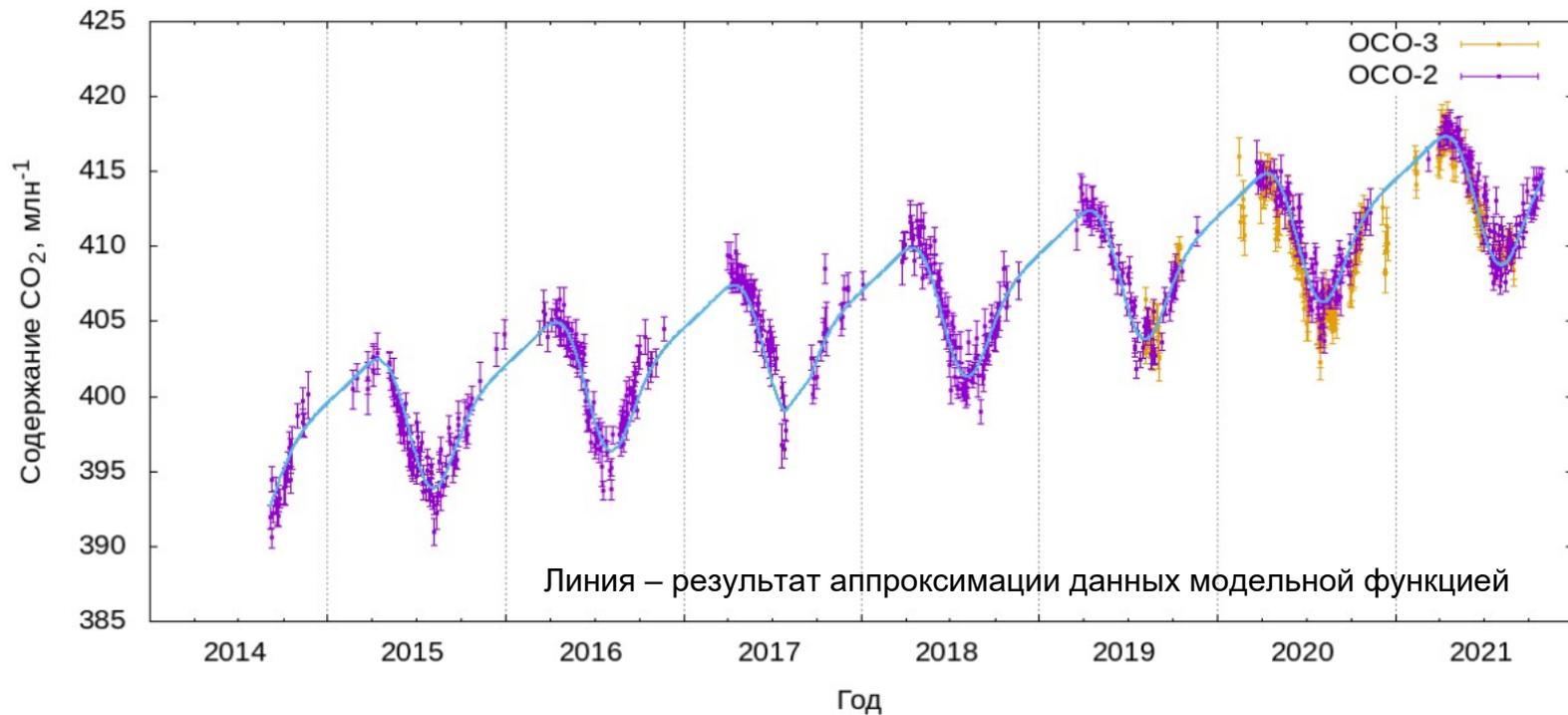
# Содержание метана в атмосфере Западной Сибири по данным AIRS и MOZART-4



# Годовой ход и межгодовая изменчивость содержания $\text{NO}_2$ в тропосфере городов Новосибирск, Кемерово, Барнаул для периода 2018-2022 гг. по данным TROPOMI/Sentinel-5P



# Годовой ход и межгодовая изменчивость содержания $\text{CO}_2$ в атмосфере юга Западной Сибири (48-53 с.ш., 60-90 в.д.) в 2014-2021 гг. по данным орбитальных карбоновых обсерваторий OCO-2 и OCO-3

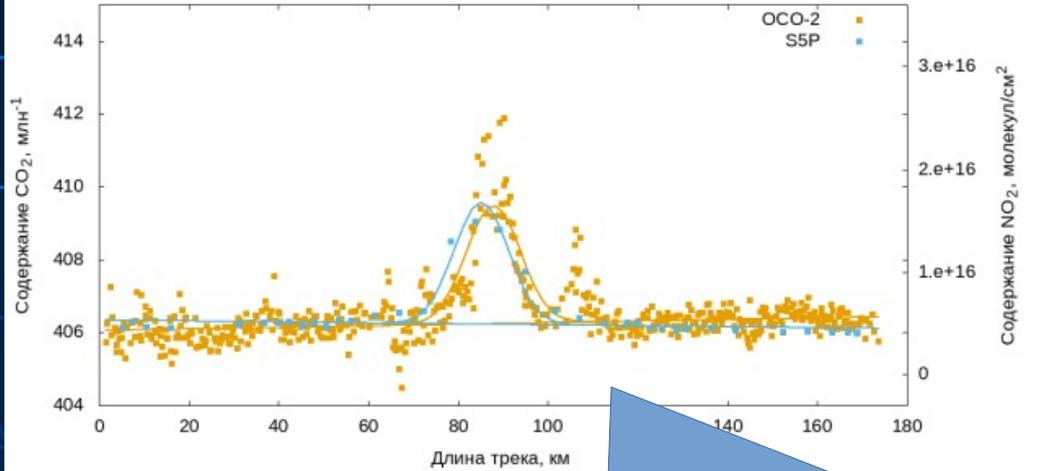
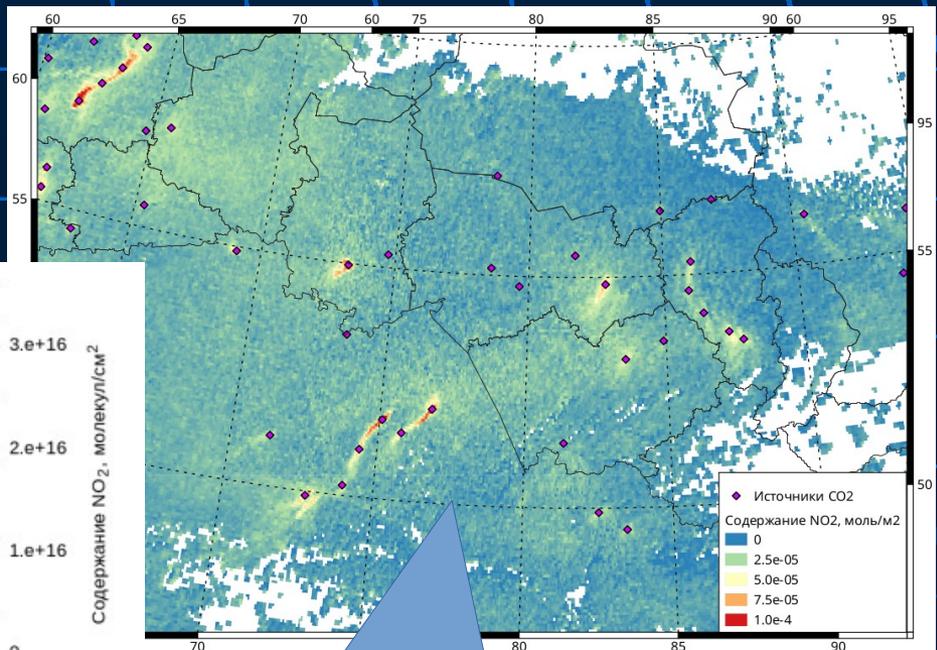
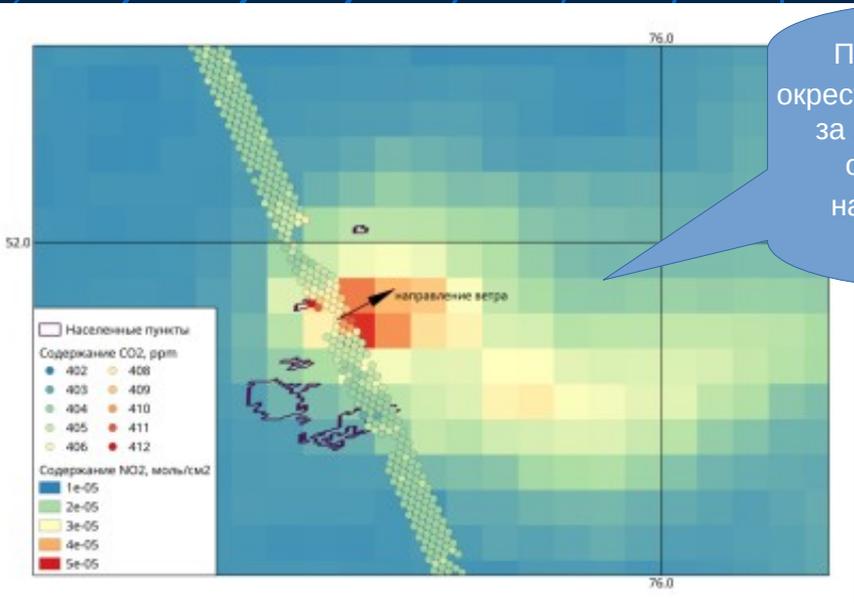


Установлено, что для исследуемого региона скорость роста содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере в 2014-2021 гг. составляла  $\sim 2.48$  млн<sup>-1</sup>/год, а амплитуда сезонных колебаний  $\sim 9.3$  млн<sup>-1</sup>.

E. Yu. Mordvin, A. A. Lagutin, N. V. Volkov  
Interannual variability of  $\text{CO}_2$  content in the atmosphere of the south of Western Siberia according to satellite observations in 2014-2021 // Proceedings of SPIE. - The International Society for Optical Engineering. 2022. V. 12341, Art. No. 123413R.

# Эмиссия CO<sub>2</sub> крупными промышленными объектами региона

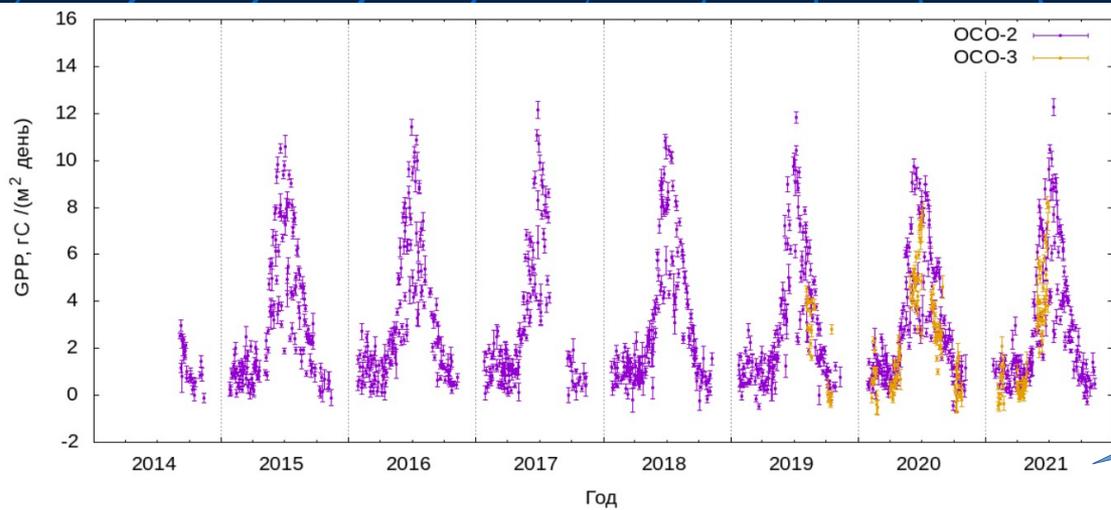
Пространственное распределение полного содержания NO<sub>2</sub> в окрестностях Экибастузской ГРЭС-1 по данным TROPOMI/Sentinel-5P за 29 августа 2020 года. Зеленые круги – пиксели сканирования обсерватории OCO-2 (содержание CO<sub>2</sub>). Стрелкой показано направление ветра на текущее время, полученное по данным реанализа ERA5.



Результаты аппроксимации поперечных распределений содержания NO<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub>, полученные с использованием вектор-функции распределения Гаусса для данных TROPOMI/Sentinel-5P (голубые точки) и OCO-2 (желтые точки) за 29 августа 2020 года в окрестностях Экибастузской ГРЭС-1.

Пространственное распределение аномалий CO<sub>2</sub> по данным о полном содержании NO<sub>2</sub> (TROPOMI/Sentinel-5P за 15 июля 2020 г.)

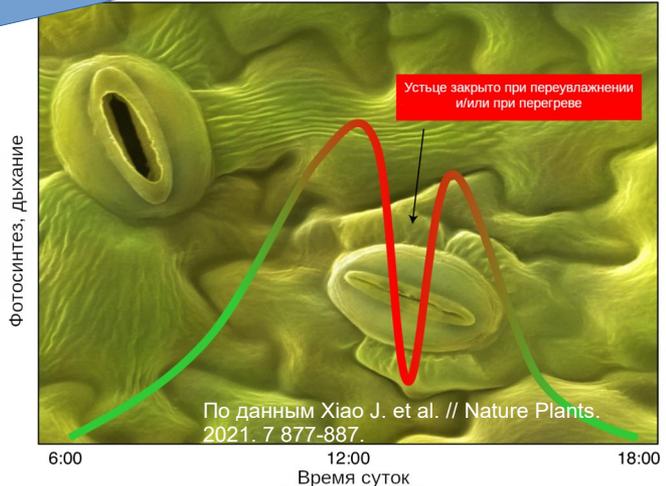
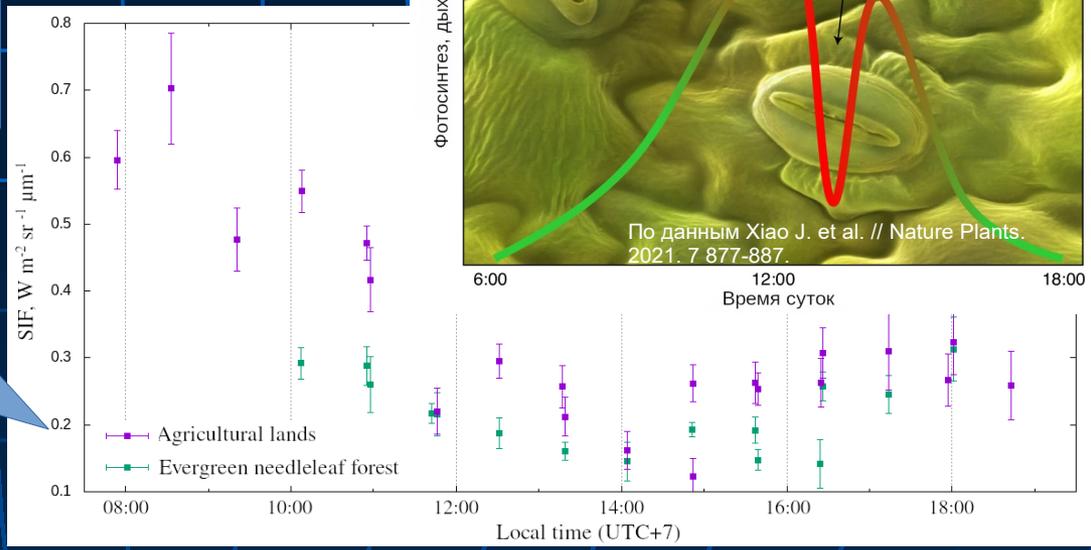
# Валовая первичная продукция (GPP) для территории юга Западной Сибири по данным орбитальных карбоновых обсерваторий OCO-2 и OCO-3



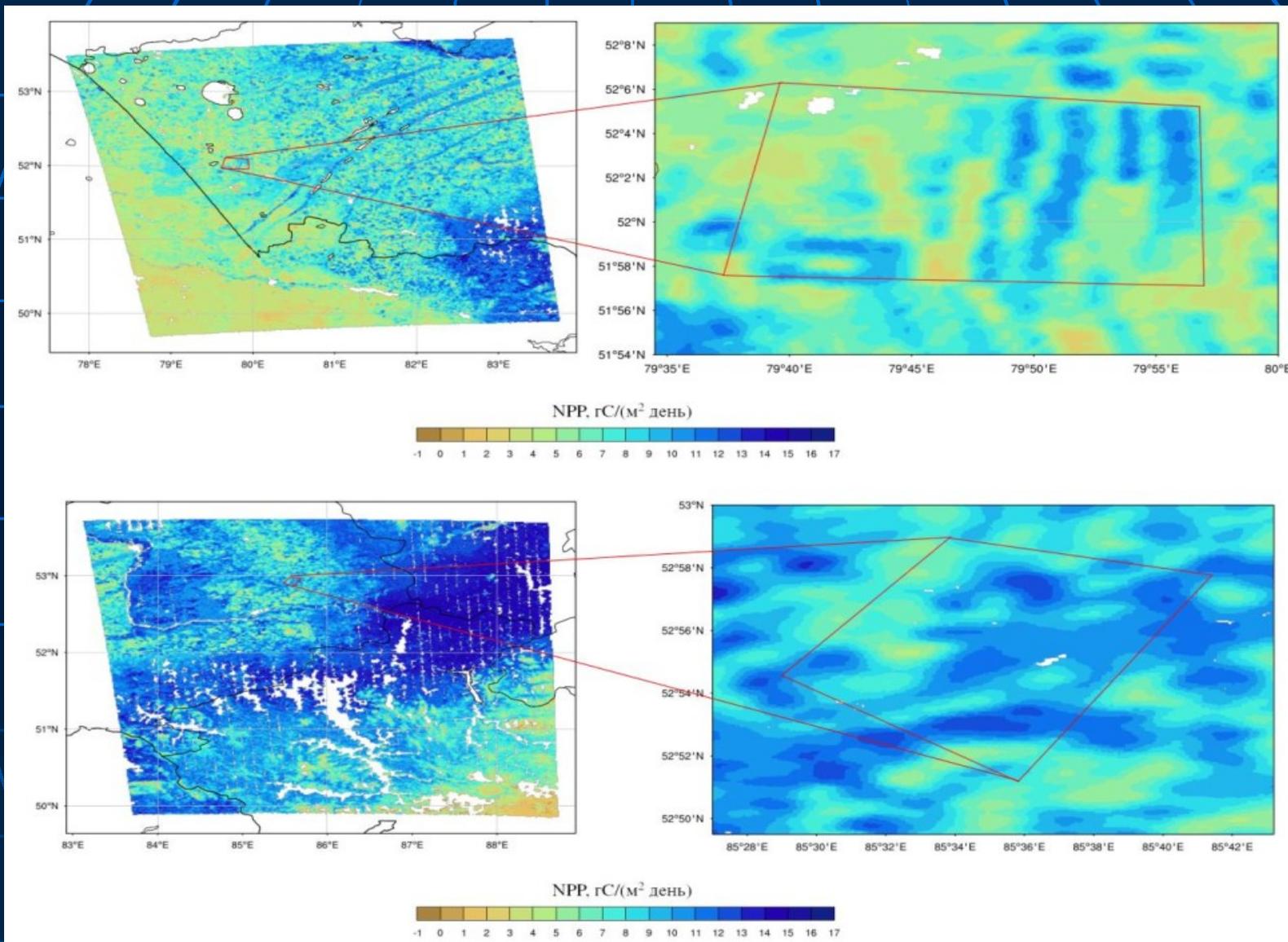
Годовой ход и межгодовая изменчивость GPP на территории юга Западной Сибири (50-55 с.ш., 75-90 в.д.) в 2014-2021 гг., полученные по данным о флуоресценции хлорофилла, индуцированного солнечным светом (SIF), орбитальных карбоновых обсерваторий OCO-2 и OCO-3.

$GPP = k \cdot SIF,$   
 $k = 13.5 \text{ гС м}^{-2} \text{ день}^{-1} / (\text{Вт м}^{-2} \mu\text{м}^{-1} \text{ ср}^{-1})$

Флуоресценция хлорофилла, индуцированная солнечным светом. Суточный ход по данным обсерватории OCO-3 за июнь 2020 и 2021 гг. для территории Алтайского края.



# Чистая первичная продукция (NPP) по данным радиометра ECOSTRESS



Красными четырехугольниками обозначены границы экспериментальных участков, на которых планируется создание карбоновых полигонов.

## Прогнозирование урожайности зерновых и зернобобовых по спутниковым данным о SIF

1. Верификационные эксперименты показали, что спутниковые данные о флуоресценции хлорофилла, индуцированного солнечным светом (SIF), могут быть использованы для прогнозирования урожайности зерновых и зернобобовых за 2 месяца до уборки урожая.

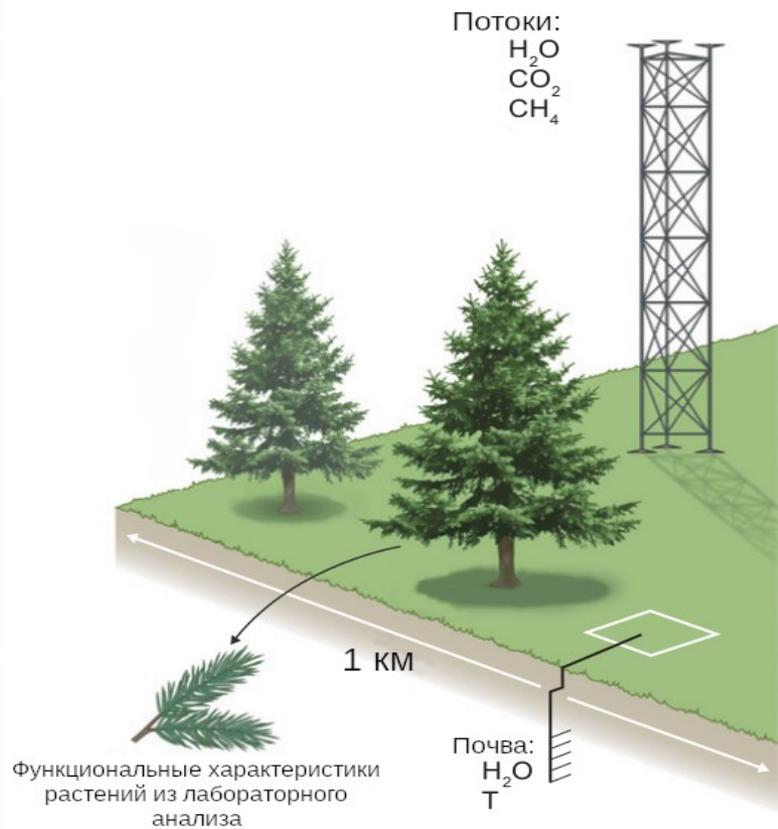
2. Основываясь на этой технологии, установлено, что в 2023 г. из-за засухи в Алтайском крае будет собрано на ~ 25% меньше зерна, чем в 2022 г.

В Новосибирской области потери могут достигать ~ 30%.

# Ближайшие перспективы: наземная и спутниковая системы мониторинга на полигонах «Карбон Алтай»

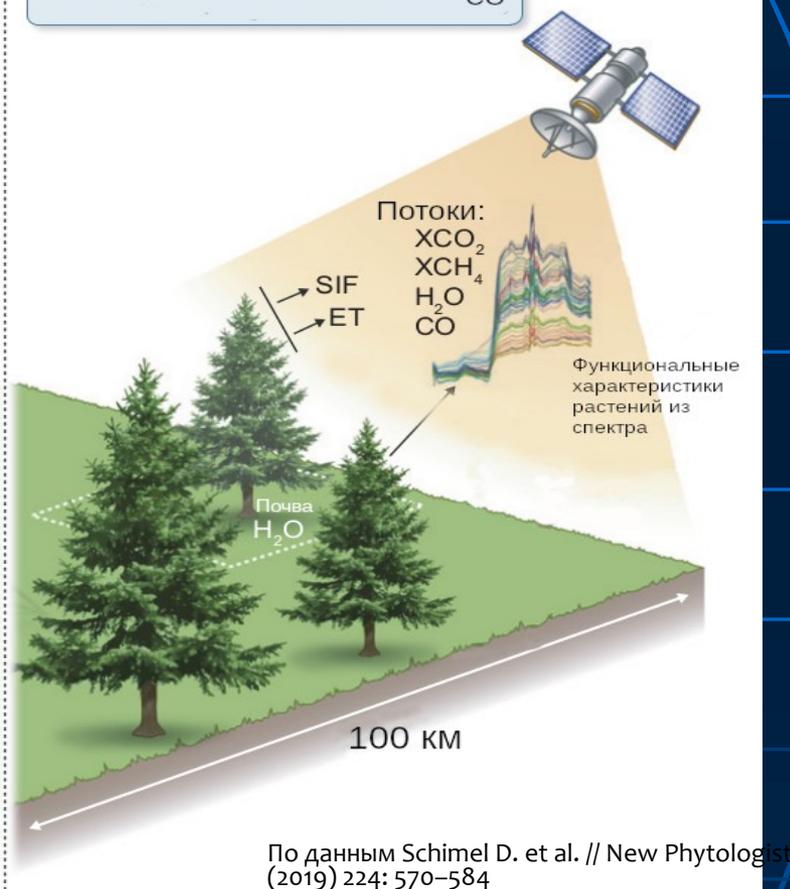
## Наземный сегмент

$$NPP = GPP - R$$



## Космический сегмент

$$NPP = GPP - R - Fire_{CO}$$



При поддержке Экспертным советом Минобрнауки проекта Алтайского края «Карбон Алтай» будет создана уникальная система мониторинга парниковых газов, представленная на рисунке.



**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**

Работа выполнена при поддержке  
Министерства науки и высшего  
образования РФ (государственное  
задание на проведение научных  
исследований, выполняемых в  
АлтГУ, проект FZMW-2023-0007).