

Многофункциональный программный комплекс ИФА РАН для сбора, обработки и анализа орбитальных данных о составе атмосферы: задачи, возможности, результаты применения, пути развития

**MODIS/Terra/Aqua:
AOT, O₃, облачность**



**AIRS/Aqua:
CO, CH₄, O₃, метео**



**OMI/Aura:
содержание NO₂, CH₄, O₃, SO₂,
HCHO, аэрозоли**



**TROPOMI/Sentinel-5P:
содержание CO,
NO₂, CH₄, O₃, SO₂, HCHO,
аэрозольные параметры**



**В.С. Ракитин, А.В. Казаков, Н.Ф. Еланский
ИФА им. А.М. Обухова РАН**

Проблемы:

- большой объем скачиваемой информации (десятки Тб/год)
- длительный процесс получения и обработки данных
- наличие трудоемких ручных действий
- MATLAB при решении большого числа задач не всегда удобен
- как следствие, возникает «зоопарк» программ, скриптов и инструментов
- разные версии программ/скриптов и алгоритмов способствуют ошибкам или создают дополнительные трудности

Решения:

- одна программа = набор инструментов под задачи
- автоматизация рутинных и типовых процессов
- унификация процессов и алгоритмов обработки
- простая установка, простота в использовании
- кроссплатформенность, нетребовательность к ресурсам
- совместимость с MATLAB, Raporly и др. приложениями

Создание обусловлено необходимостью обработки большого объема информации (big data) о составе атмосферы разных спутниковых приборов, в т.ч. спектрометра высокого разрешения TROPOMI S-5P

Были поставлены и последовательно решены следующие задачи:

1. Автоматический сбор данных TROPOMI L2 («повиточные» файлы .NetCdf, 15 файлов для каждого измерительного дня)

2. Формирование TROPOMI L3 (суточные данные с сохранением исходного разрешения, 1 mat-файл для измерительного дня)

Процедура позволяет существенно сократить необходимый объем памяти сервера или компьютера (от 3 до 20 раз)

3. Обработка данных L3 орбитальных спектрометров MODIS, AIRS, OMI, TROPOMI с фильтрацией данных по качеству, а также с возможностью фильтрации по любым сопутствующим параметрам:

- построение пространственных полей атмосферных примесей с заданным разрешением: - дневных/недельных/сезонных/годовых и т.п.;

- построение распределений трендов и доверительных интервалов

4. Проведение валидационных работ (сопоставление орбитальных данных с наземными, орбитальных данных между собой, орбитальных данных и модельных расчетов)

Дополнительные возможности программы:

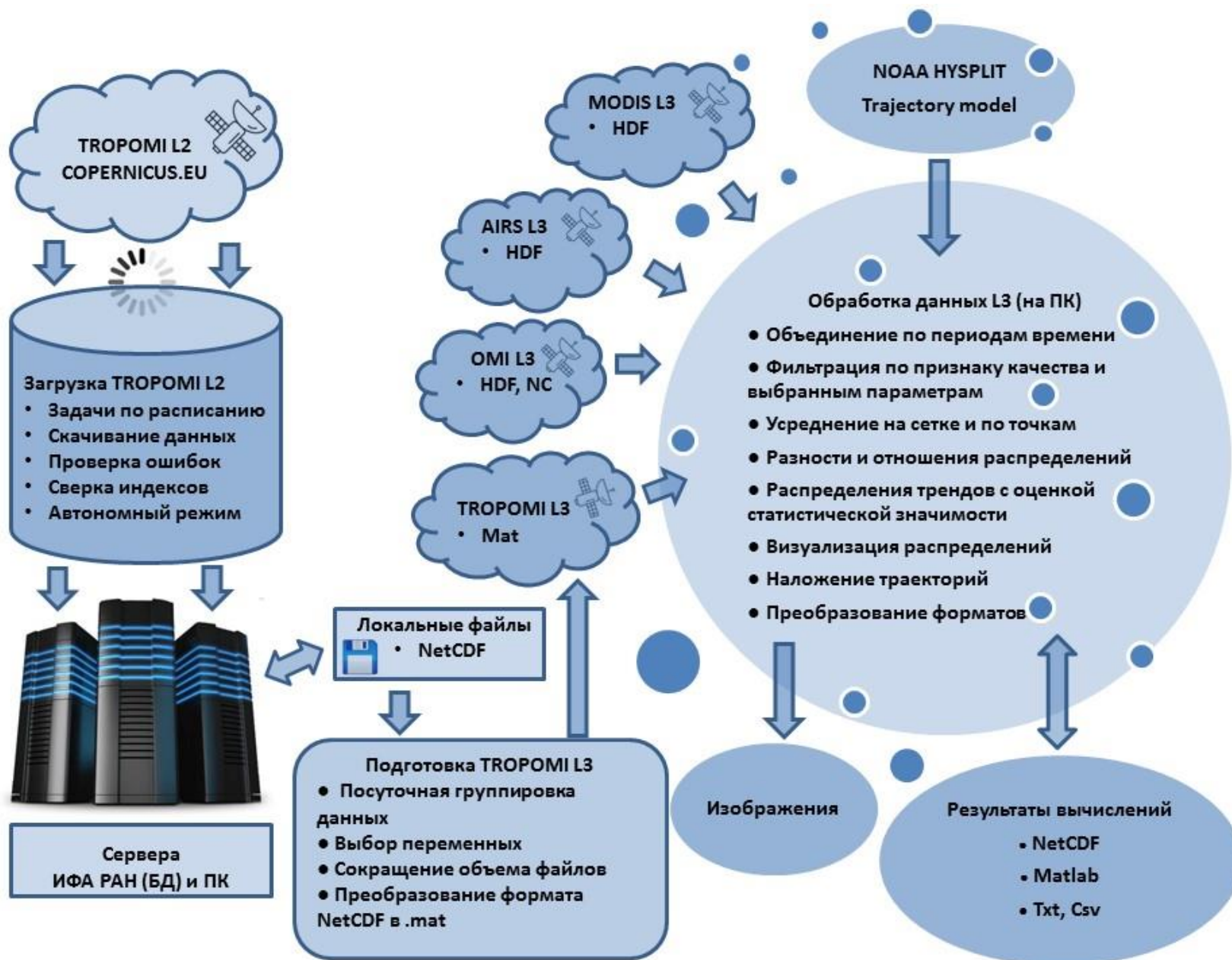
- **построение усредненных распределений при произвольной выборке любого набора измерительных дней**
- **сравнение распределений** (построение распределений разности/отношения), например, «орбитальное распределение минус модельное распределение» или ОС O₃/ОС СО
- **наложение траекторий NOAA HYSPLIT** на любые орбитальные распределения

Данные сохраняются либо на один из серверов ИФА РАН, либо на персональный компьютер.

Программа имеет простой интуитивно понятный интерфейс и может быть использована как сложившимися специалистами, так и студентами.

Кроме того, программа обладает значительными ресурсами и возможностями для дальнейшей модернизации.

Техническая информация по программе



Технологии

- Язык JAVA SE 8, пользовательский интерфейс Swing
- Библиотеки NetCDF, Apache Commons, Google Json, Jshc, slf4j
- Только Open Source, без лицензирования, все бесплатное
- Работает в Windows, MacOS, Linux, FreeBSD, Solaris etc.
- Требуется наличие JVM, установка программы на требуется
- Поддержка форматов Matlab, NetCDF, HDF, CSV, XLSX





 **Построить распределения**

Извлекает из суточных файлов MAT или HDF данные, усредняет на указанном домене, и строит изображения.

 **Сравнить распределения**

Извлекает из двух файлов данные, вычисляет разницу, и строит изображения.

 **Распределения трендов**

Извлекает из суточных файлов MAT или HDF данные, вычисляет тренды, и строит изображения.

 **Собрать данные по точкам**

Извлекает из суточных файлов MAT или HDF данные и усредняет по ячейкам для выбранных точек

 **Преобразовать NC в MAT**

Извлекает из файлов Tropomi NC указанные переменные, группирует по суткам, и сохраняет в файлы matlab

 **Загрузка TROPOMI NC**

Скачивает файлы Tropomi NC, проверяет и сохраняет на локальный диск или на sftp сервер

Закачка данных TROPOMI L2

Тропомі tools

Инструменты Помощь Выход

Загрузка файлов TROPOMI NC с copernicus.eu

1. Куда закачивать файлы:

На sftp сервер

На локальный диск

На sftp сервер

Хост: 83.XXX.XXX.XXX

Порт: XXXX

Логин: _____

Пароль: _____

Папка на сервере: /Disk_6/SATELLITE_DATA/TROPOMI/L2

3. Какие данные скачать:

Период: 01.07.2022 ... 03.11.2022

Режим: OFFL RPRO NRTI

Примесь: CO CH4 NO2 SO2 O3 O3_TCL HCHO
 CLOUD AER_AI AER_LH NP_BD3 NP_BD6 NP_BD7

4. Файлы *.nc, которые уже есть в папке:

Пропускать без проверки

5. Прочие настройки:

Количество попыток загрузки файла: 3

Таймаут попыток докачки, минуты: 10

Количество параллельных потоков: 2

Июль 2022						
пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31

Преобразование TROPOMI L2 NetCdf в .mat

Инструменты Помощь

Выход

Преобразовать NC в MAT

Выбрана папка: \\Vadim2\спутниковые данные\Данные\TROPOMI данные\CO_OFFL_nc\2022

Найдено файлов .nc: 4092

Выбраны файлы: CO OFFL 2022

Найдены обязательные переменные: latitude, longitude, time_utc, qa_value

Всего переменных с геопривязкой: 31

3. Выберите переменные для обработки:

Выбрать	Группа	Переменная	Размернос...	Описание
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUCT	carbonmonoxide_total_column	2d	float carbonmonoxide_total_column(time=1, s...
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUCT	carbonmonoxide_total_column_precision	2d	float carbonmonoxide_total_column_precision...
<input type="checkbox"/>	PRODUCT	carbonmonoxide_total_column_corrected	2d	float carbonmonoxide_total_column_correcte...
<input type="checkbox"/>	PRODUCT/SUPPORT_...	solar_zenith_angle	2d	float solar_zenith_angle(time=1, scanline=41...
<input type="checkbox"/>	PRODUCT/SUPPORT_...	solar_azimuth_angle	2d	float solar_azimuth_angle(time=1, scanline=4...
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUCT/SUPPORT_...	viewing_zenith_angle	2d	float viewing_zenith_angle(time=1, scanline=4...
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUCT/SUPPORT_...	viewing_azimuth_angle	2d	float viewing_azimuth_angle(time=1, scanline...
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUCT/SUPPORT_...	pressure_levels	3d	float pressure_levels(time=1, scanline=4173, ...
<input type="checkbox"/>	PRODUCT/SUPPORT_...	water_total_column	2d	float water_total_column(time=1, scanline=41...
<input type="checkbox"/>	PRODUCT/SUPPORT_...	water_total_column_precision	2d	float water_total_column_precision(time=1, sc...
<input type="checkbox"/>	PRODUCT/SUPPORT_...	semiheavy_water_total_column	2d	float semiheavy_water_total_column(time=1, ...
<input type="checkbox"/>	PRODUCT/SUPPORT_...	semiheavy_water_total_column_precision	2d	float semiheavy_water_total_column_precision...
<input type="checkbox"/>	PRODUCT/SUPPORT_...	scattering_optical_thickness_SWIR	2d	float scattering_optical_thickness_SWIR(time...
<input type="checkbox"/>	PRODUCT/SUPPORT_...	height_scattering_layer	2d	float height_scattering_layer(time=1, scanline...
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUCT/SUPPORT_...	surface_albedo_2325	2d	float surface_albedo_2325(time=1, scanline=...
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUCT/SUPPORT_...	surface_albedo_2335	2d	float surface_albedo_2335(time=1, scanline=...
<input type="checkbox"/>	PRODUCT/SUPPORT_...	wavelength_calibration_offset	2d	float wavelength_calibration_offset(time=1, sc...
<input type="checkbox"/>	PRODUCT/SUPPORT_...	chi_square	2d	float chi_square(time=1, scanline=4173, grou...
<input type="checkbox"/>	PRODUCT/SUPPORT_...	degrees_of_freedom	2d	float degrees_of_freedom(time=1, scanline=4...
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUCT/SUPPORT_...	column_averaging_kernel	3d	float column_averaging_kernel(time=1, scanli...
<input type="checkbox"/>	PRODUCT/SUPPORT_...	methane_total_column_prefit	2d	float methane_total_column_prefit(time=1, sc...
<input type="checkbox"/>	PRODUCT/SUPPORT_...	methane_weak_twoband_total_column	2d	float methane_weak_twoband_total_column(ti...
<input type="checkbox"/>	PRODUCT/SUPPORT_...	methane_strong_twoband_total_column	2d	float methane_strong_twoband_total_column(...
<input type="checkbox"/>	PRODUCT/SUPPORT_...	water_weak_twoband_total_column	2d	float water_weak_twoband_total_column(time...
<input type="checkbox"/>	PRODUCT/SUPPORT_...	water_strong_twoband_total_column	2d	float water_strong_twoband_total_column(tim...
<input type="checkbox"/>	PRODUCT/SUPPORT_...	surface_altitude	2d	float surface_altitude(time=1, scanline=4173, ...
<input type="checkbox"/>	PRODUCT/SUPPORT_...	surface_altitude_precision	2d	float surface_altitude_precision(time=1, scanli...
<input type="checkbox"/>	PRODUCT/SUPPORT_...	scaled_small_pixel_variance	2d	float scaled_small_pixel_variance(time=1, sc...
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUCT/SUPPORT_...	eastward_wind	2d	float eastward_wind(time=1, scanline=4173, g...
<input checked="" type="checkbox"/>	PRODUCT/SUPPORT_...	northward_wind	2d	float northward_wind(time=1, scanline=4173, ...
<input type="checkbox"/>	PRODUCT/SUPPORT_...	surface_pressure	2d	float surface_pressure(time=1, scanline=417...

< Назад

Далее >

Построение распределений

Трополи tools

Инструменты Помощь Выход

Файлы с данными

+ - x

- AIRS.2020.01.15.L3.RetStd_IR001.v6.0.31.1.G200
- AIRS.2020.01.16.L3.RetStd_IR001.v6.0.31.1.G200
- AIRS.2020.01.17.L3.RetStd_IR001.v6.0.31.1.G200
- AIRS.2020.01.18.L3.RetStd_IR001.v6.0.31.1.G200
- AIRS.2020.01.19.L3.RetStd_IR001.v6.0.31.1.G200
- AIRS.2020.01.20.L3.RetStd_IR001.v6.0.31.1.G200
- AIRS.2020.01.21.L3.RetStd_IR001.v6.0.31.1.G200
- AIRS.2020.01.22.L3.RetStd_IR001.v6.0.31.1.G200
- AIRS.2020.01.23.L3.RetStd_IR001.v6.0.31.1.G200
- AIRS.2020.01.24.L3.RetStd_IR001.v6.0.31.1.G200
- AIRS.2020.01.25.L3.RetStd_IR001.v6.0.31.1.G200
- AIRS.2020.01.26.L3.RetStd_IR001.v6.0.31.1.G200
- AIRS.2020.01.27.L3.RetStd_IR001.v6.0.31.1.G200
- AIRS.2020.01.28.L3.RetStd_IR001.v6.0.31.1.G200

Выбраны файлы .hdf: 14

Обработка распределения

Извлечь переменную:
ascending/Data_Fields/TotCO_A

Фильтры
GMTED2010 Altitude (m) <= 1500

Извлечь даты из имени файлов:
AIRS.2020.01.15.L3.RetStd_IR001.v6.0.31.1.G200

Группировка: Объединить все файлы

Разрешение, ° 1.0

Домен:
Варианты домена...

- Весь мир
- Северное полушарие
- Южное полушарие
- Европа
- Европейская часть РФ

Наложить траектории

Точка 1	Долгота, °	37.6	55.7
Точка 2			
Точка 3			

Дата: все даты распределения

Время суток, ч: 10

Направление: Backward

Длительность, ч: 72

Высота, м: 100 1000 2000

Скорректировать домен по траекториям

Шкала

дискретная x 5 NaN серый Ноль бел

Диапазон: 1.5 ... 3 x 1E+18

Настроить шкалу автоматически

Единицы: молек/см2

Карта

Заголовок: З ОС СО, 15-28 янв. 2020

Изображение (ш X в, ...): 1200 X 600

Интерполяция: Бикубическая

Наложить береговую линию

Слой: City_all.xlsx

Метка долготы: Линии

Метка широты: Линии

Метки долготы: Слева/внизу карты

Метки широты: Слева/внизу карты

Шаг долготы: 20°

Шаг широты: 20°

Толщина линий: Нормальные

Базовый шрифт: SansSerif, полужирны...

Шрифт заголовка: SansSerif, полужирны...

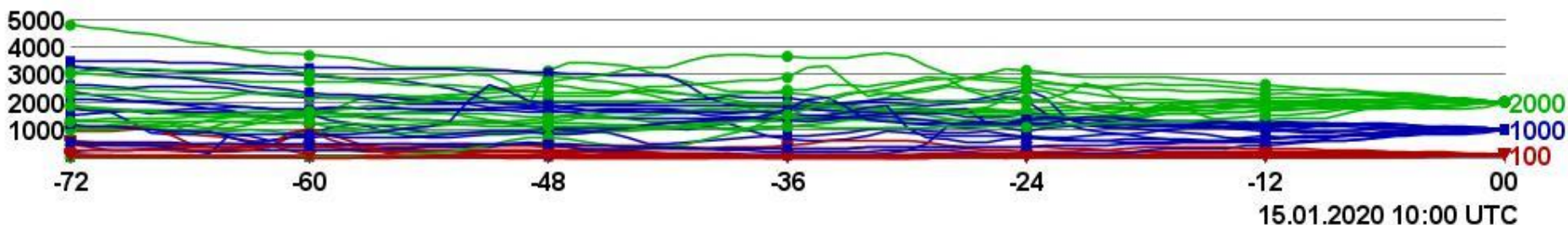
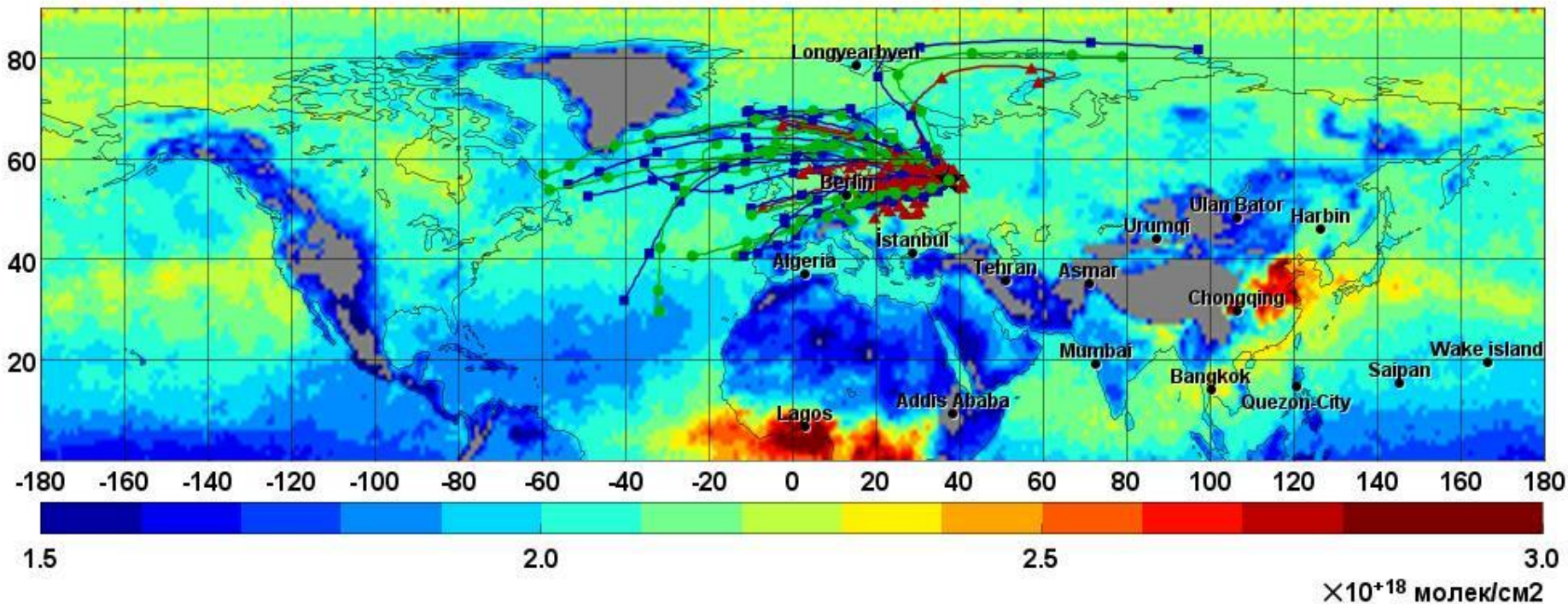
Поля и отступы, пикс: 10

Построить распределения ▶

Построение распределений

Тропomi tools

AIRS OC CO, 15-28 янв. 2020



выбраны файлы: лог: 14

Скорректировать домен по траекториям

Поля и отступы, пикс: 10

Построить распределения

Тренды состава атмосферы и их сравнение

Тропомі tools

Инструменты Помощь Выход

Файлы с данными

Файл 1:

Извлечь переменную:

Фильтры

Файл 2:

Извлечь переменную:

Фильтры

Обработка

Домен:

Долгота ... °

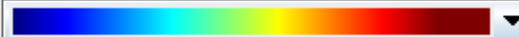
Широта ... °

Разреш...

Операц...

- Разница значений (A - B)
- Модуль разницы |A - B|
- Частное A / B

Шкала



дискретная x 5

Диапазон: ... x

Настроить шкалу автоматически

Единицы:

Карта

Заголовок

Изображение (ш X в, ... X

Интерполяция

Наложить береговую линию

Слой:

Сетка долготы

Сетка широты

Метки долготы

Метки широты

Шаг долготы

Шаг широты

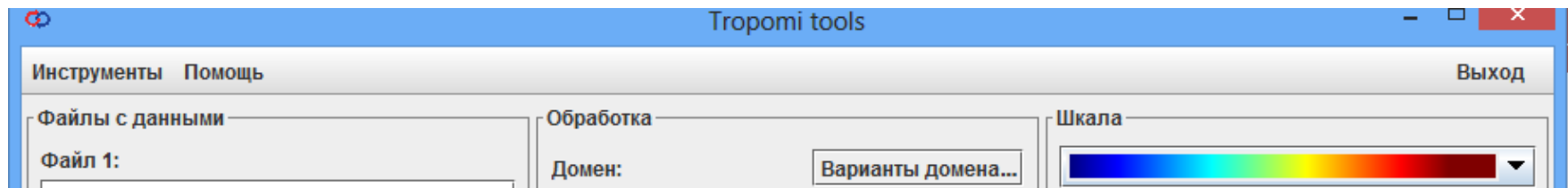
Толщина линий

Базовый шрифт

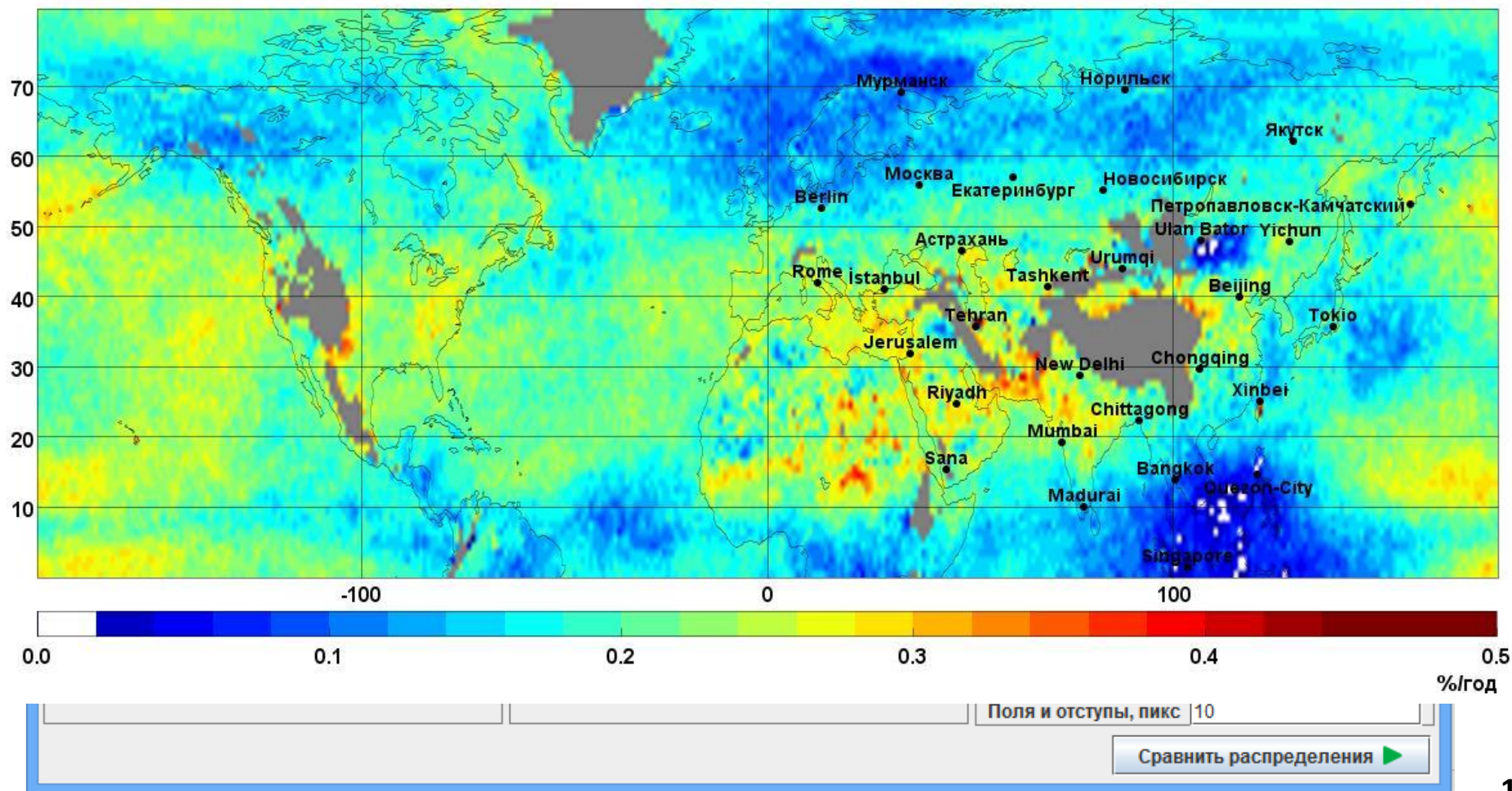
Шрифт заголовка

Поля и отступы, пикс

Тренды состава атмосферы и их сравнение



Тренд ОС CH₄, 2003-2008, AIRS, год



Тренды состава атмосферы и их сравнение

Tropomi tools

Инструменты Помощь Выход


Файлы с данными

Файл 1:

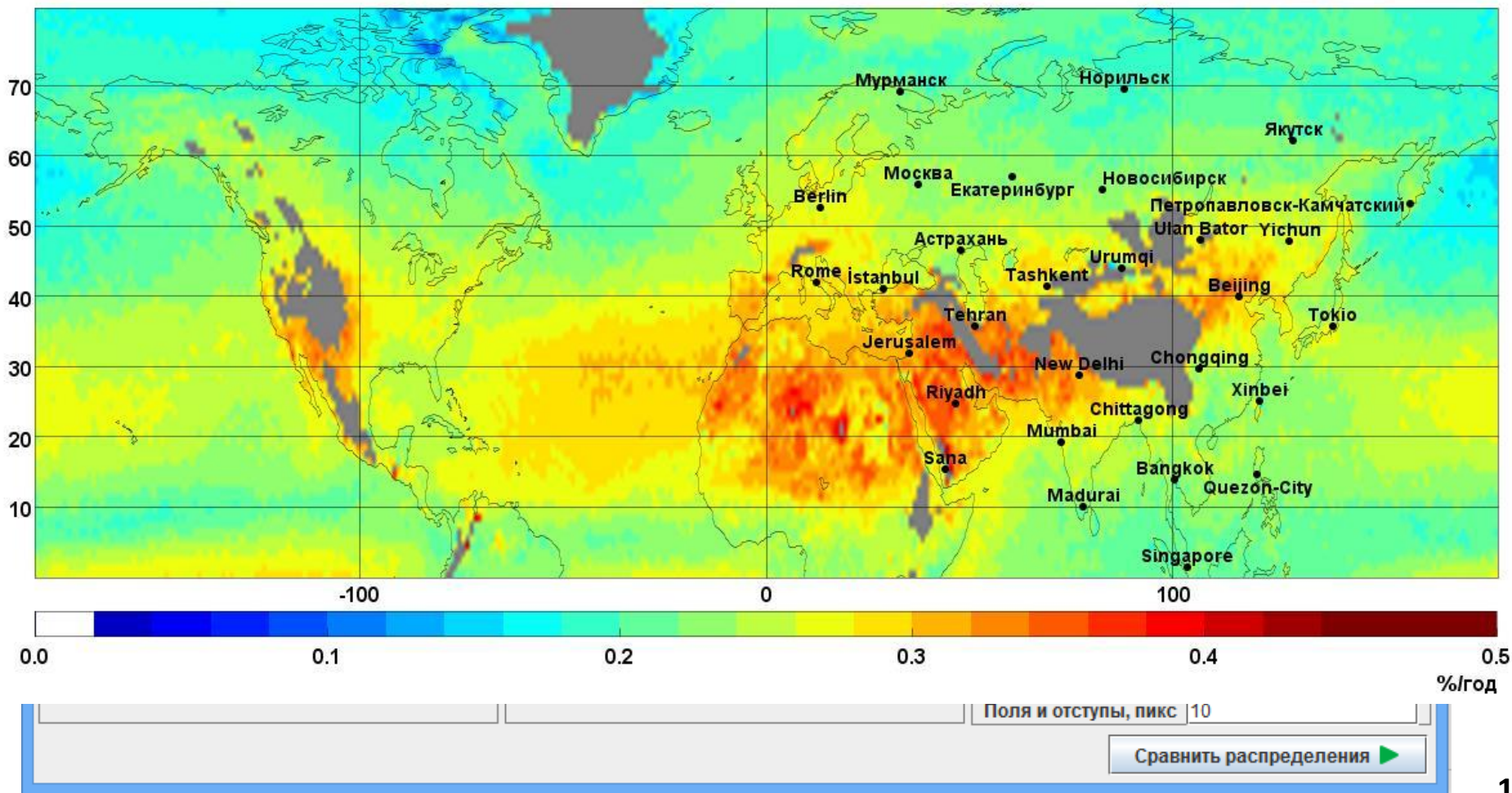
Обработка

Домен:

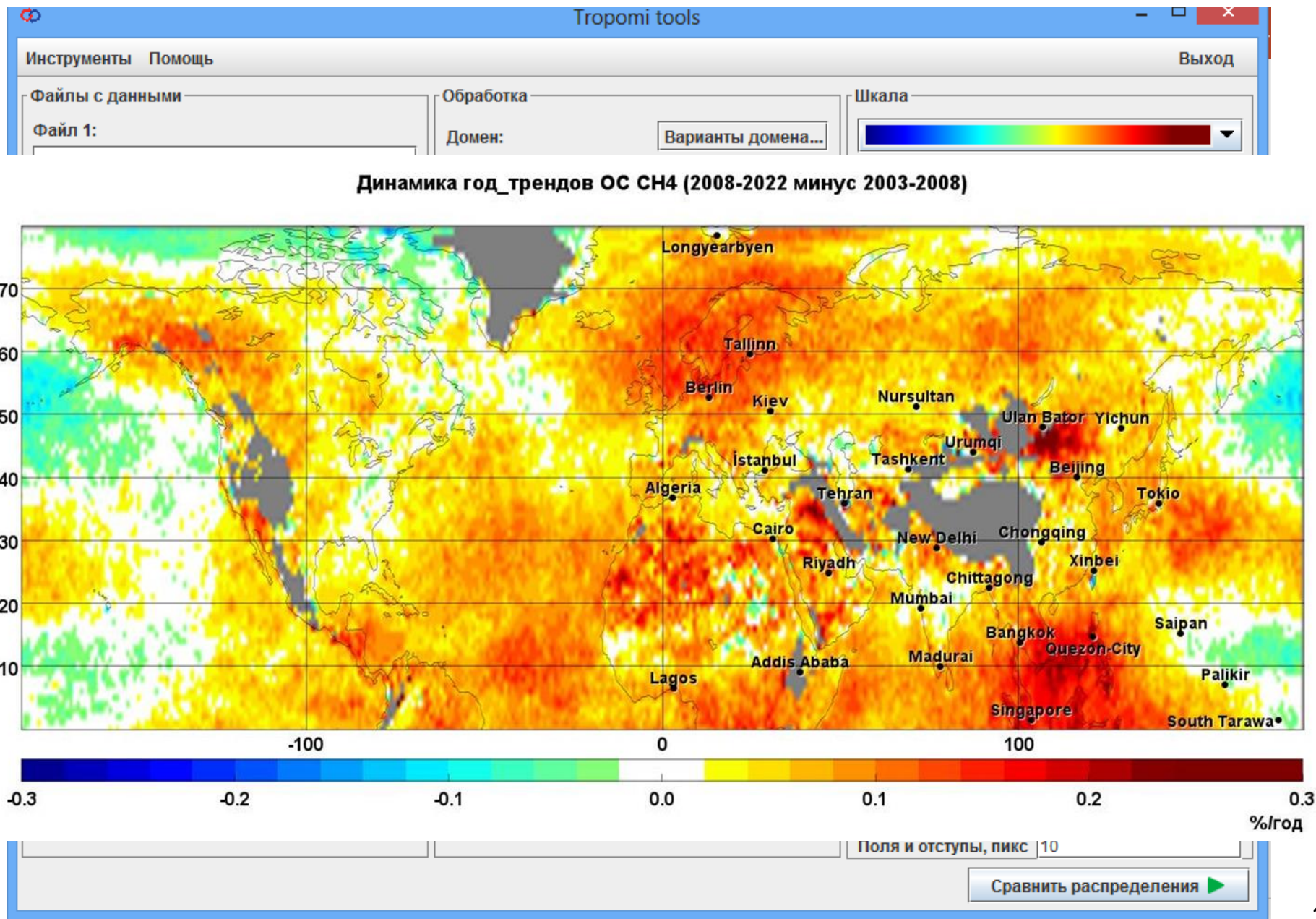
Шкала



Тренд ОС CH₄, 2008-2022, AIRS, год



Тренды состава атмосферы и их сравнение



Проведение валидационных работ

Сопоставление с наземными измерениями

Трополи tools

Инструменты Помощь Выход

Файлы с данными

+ - X

MOD08_D3.A2019362.061.2019363084545
 MOD08_D3.A2019363.061.2019364091449
 MOD08_D3.A2019364.061.2019365090819
 MOD08_D3.A2019365.061.2020002232040
 MOD08_D3.A2020001.061.2020003013309
 MOD08_D3.A2020002.061.2020003090034
 MOD08_D3.A2020003.061.2020004095652
 MOD08_D3.A2020004.061.2020005090831
 MOD08_D3.A2020005.061.2020006090530
 MOD08_D3.A2020006.061.2020007084916
 MOD08_D3.A2020007.061.2020008090506
 MOD08_D3.A2020008.061.2020009090001
 MOD08_D3.A2020009.061.2020010090246
 MOD08_D3.A2020010.061.2020014194910
 MOD08_D3.A2020011.061.2020015011612
 MOD08_D3.A2020012.061.2020015011121
 MOD08_D3.A2020013.061.2020016223655
 MOD08_D3.A2020014.061.2020016235835

Список точек

Загруз... Сохран... Очисти...

№	Долг...	Широта	Название	x
1	109....	40.85	AOE_Baotou	x
2	116....	39.97...	Beijing	x
3	116....	39.99	Beijing_PKU	x
4	116....	40	Beijing_RADI	x
5	116....	39.93	Beijing-CAMS	x
6	114....	22.3	Hong_Kong_PolyU	x
7	114....	22.48	Hong_Kong_Sheung	x
8	103....	51.8	Irkutsk	x
9	30.5	50.36	Kyiv	x
10	90.96	30.77	NAM_CO	x
11	86.95	28.37	QOMS_CAS	x
12	120....	31.42	Taihu	x
13	85.05	56.48	Tomsk	x
14	84.07	56.42	Tomsk_22	x
15	132....	43.7	Ussuriysk	x
16	116....	39.75	XiangHe	x
17	117....	34.22	XuZhou	x
18	129....	61.66	Yakutsk	x
19	59.55	57.04	Yekaterinburg	x

Обработка

Извлечь переменные:

Переменная	
mod08/Data_Fields/...	x
mod08/Data_Fields/...	x

Добавить переменную

Фильтры

AOD_550_Dark_Target_Deep_Blue_Comb...

Извлечь даты из имени файлов:

MOD08_D3.A2018001.061.2018003215357.hd

Размер областей усреднения вокруг точки,°

1.0 3.0 5.0

Добавить столбцы со стандартным от...

Добавить столбцы с количеством исх...

Добавить строки с датами без данных

Отсутствия данных обознач... NaN

Формат даты: dd.mm.y...

Фильтры

+ Фильтр переменной Очистить список

Переменная	Значение	x
AOD_550_Dark_Target_Deep_Blue_Combined_Standard_Deviation	<= 0.1	x

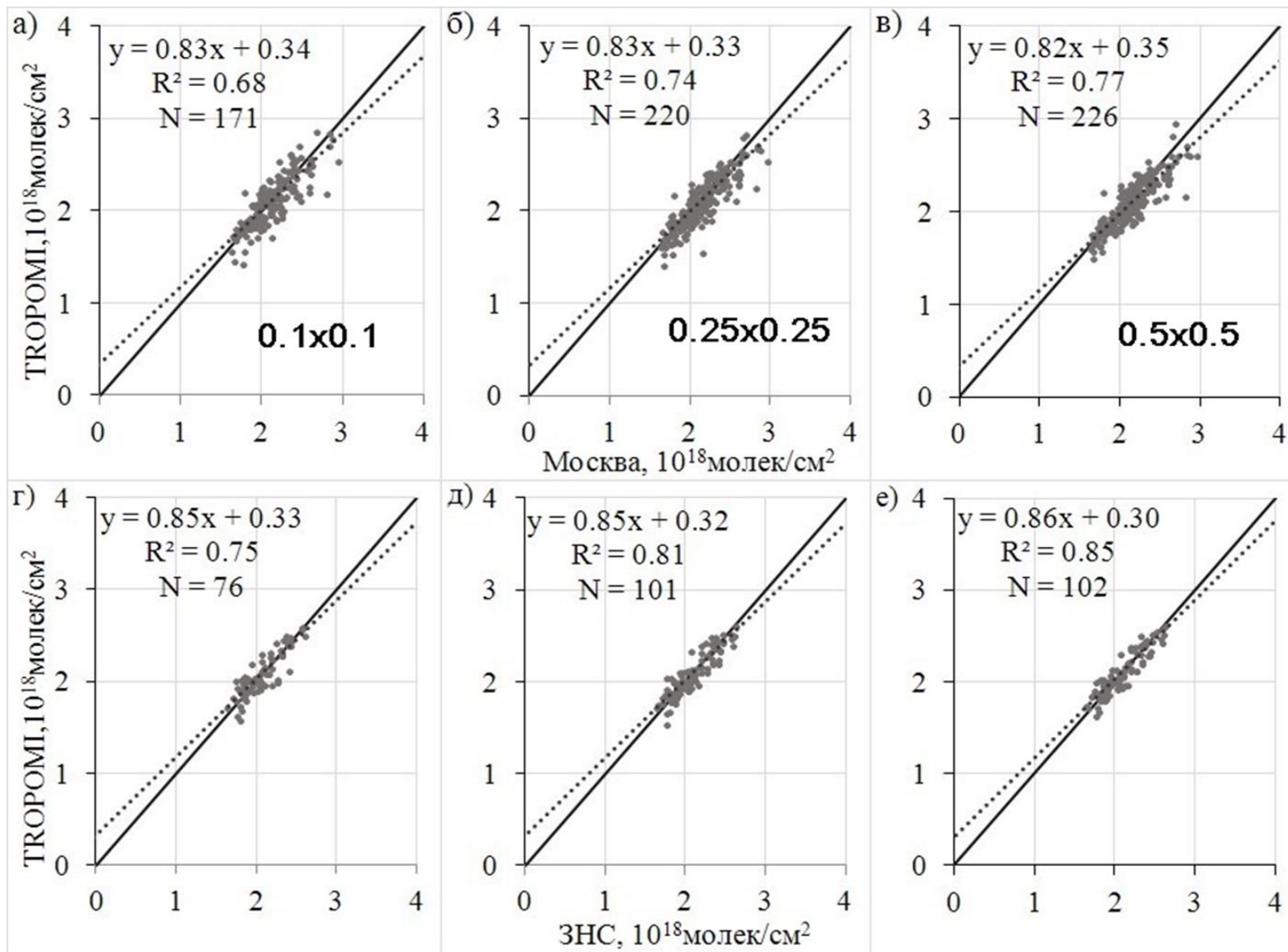
Отмена ОК

MOD08_D3.A2020025.061.2020028011625

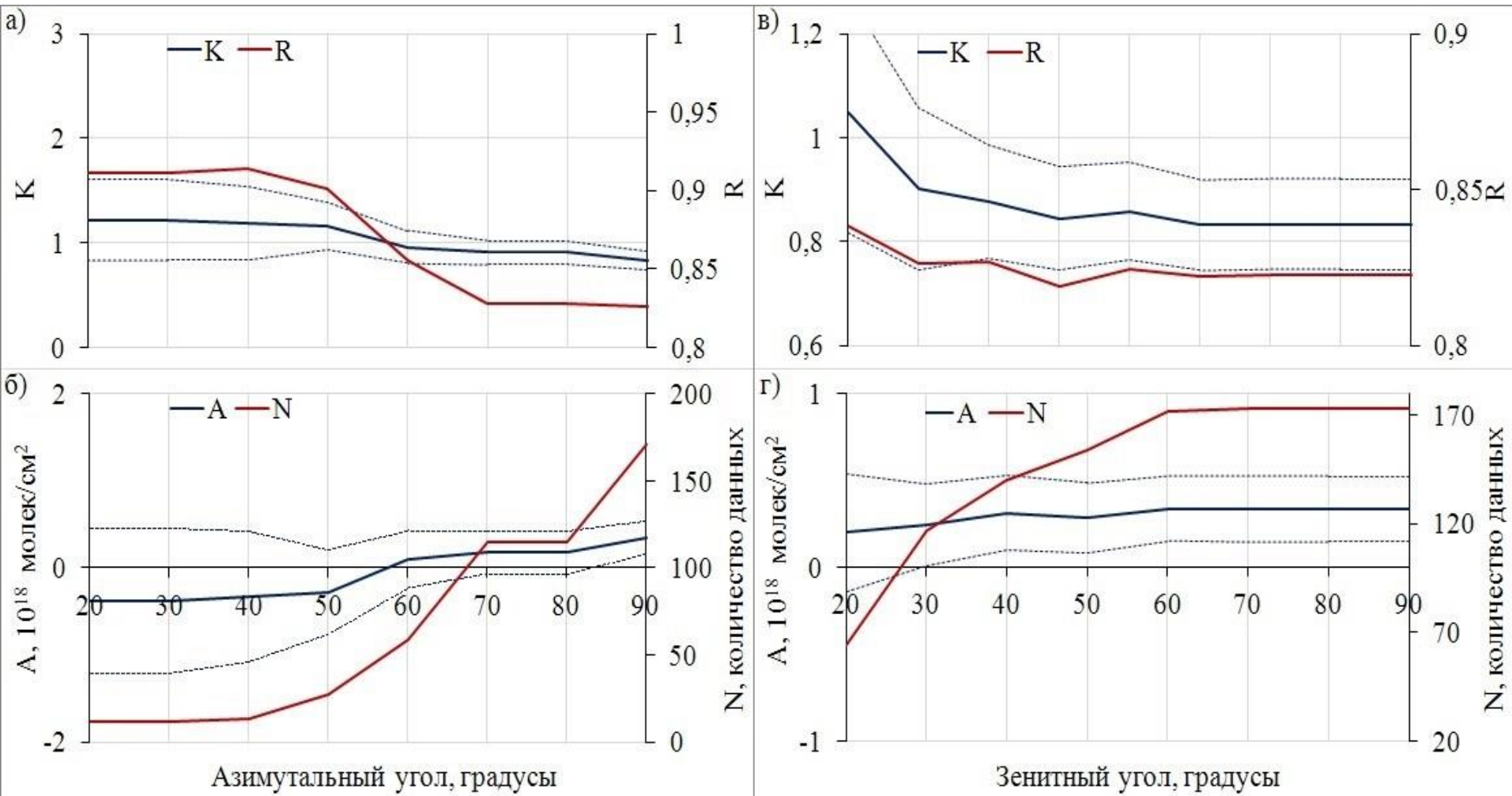
Выбраны файлы .hdf: 1021

Запустить обработку ▶

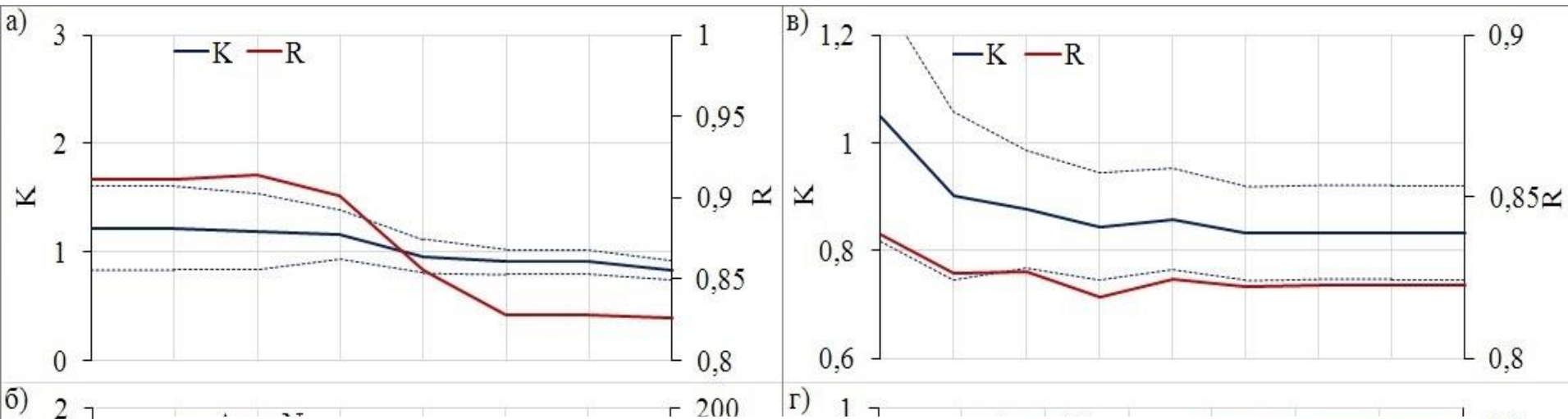
ТРОПОМИ OFFL, ОС СО, пункты «Москва» и «ЗНС», переходные соотношения $U_{\text{ТРОПОМИ}} = KxU_{\text{GROUND}} + A$, K – коэфф. линейн. регрессии, R – коэфф. корреляции



ТРОПОМИ OFFL, ОС CO (0.1°x0.1°), зависимость переходных соотношений от азимутального и зенитного угла обзора, пункт «Москва»



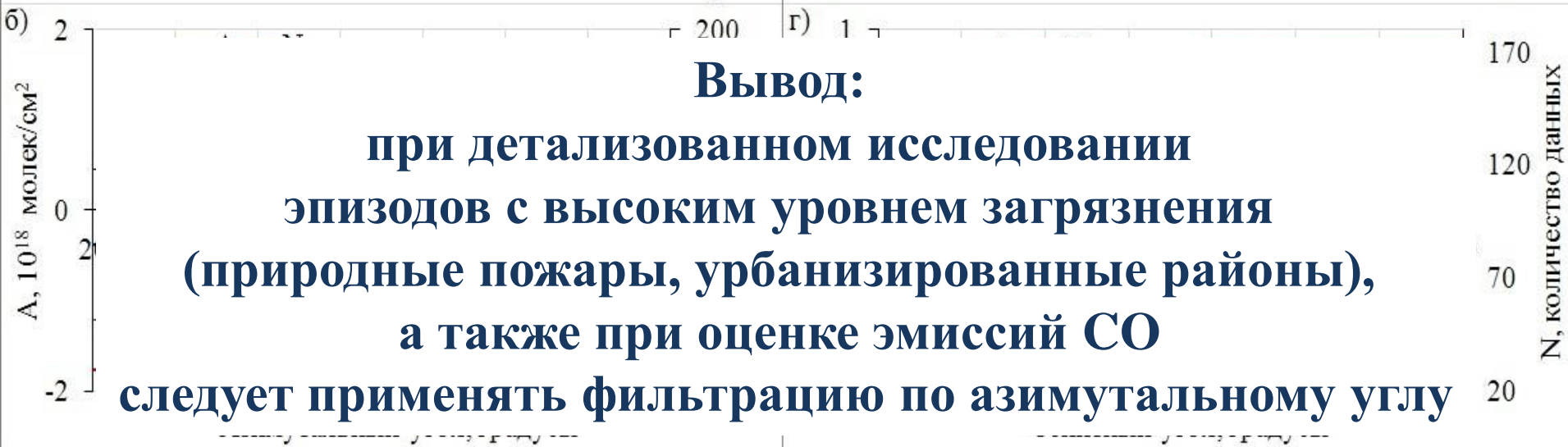
ТРОПОМИ OFFL, ОС СО (0.1°x0.1°), зависимость переходных соотношений от азимутального и зенитного угла обзора, пункт «Москва»



Вывод:

при детализованном исследовании эпизодов с высоким уровнем загрязнения (природные пожары, урбанизированные районы), а также при оценке эмиссий СО

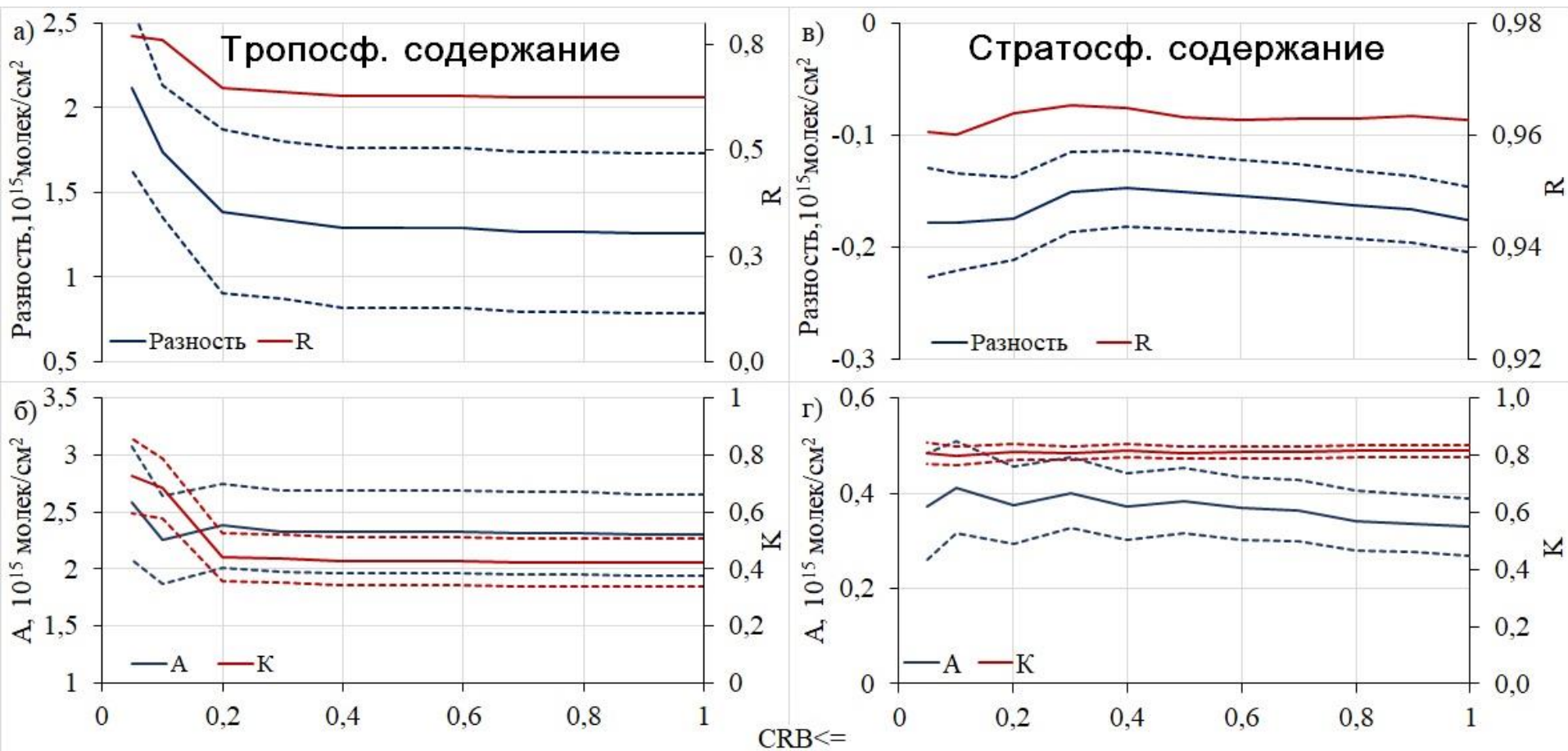
следует применять фильтрацию по азимутальному углу



Пример сопоставлений.

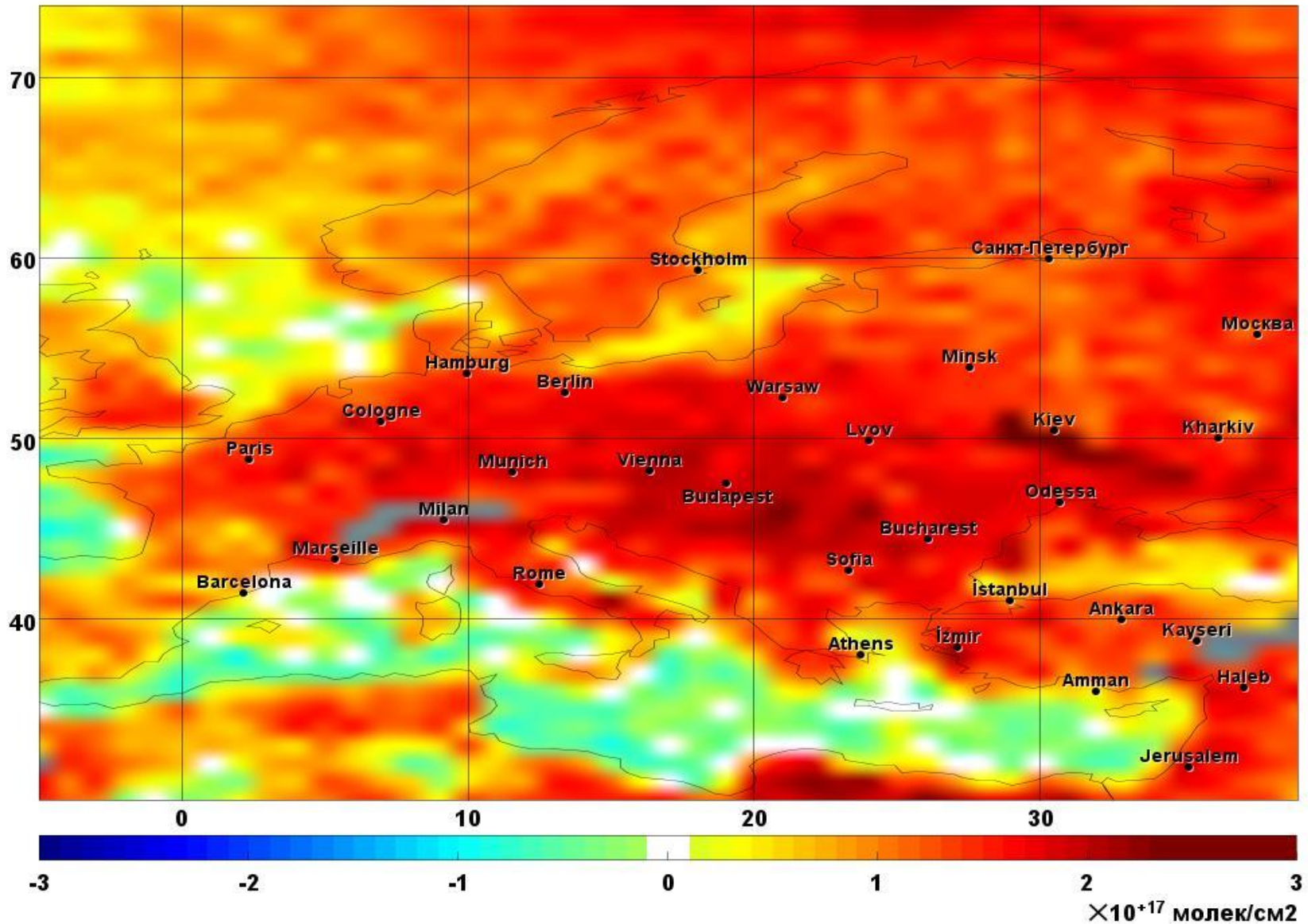
Корреляция TROPOMI ($0.1^\circ \times 0.1^\circ$) с наземными измерениями ЗНС, тропосферное (а-б) и стратосферное (в-г) содержание NO_2 в зависимости от облачности.

Линейная регрессия, R – коэфф. корреляции, $U_{\text{TROPOMI}} = K(U_{\text{ЗНС}}) + A$, где U – содержание, A – константа



Пример разности распределений ОС СО двух разных орбитальных спектрометров (TROPOMI и AIRS)

ОС СО, TROPOMI минус AIRS, апрель 2020



Примеры систематизации орбитальных распределений по направлению переноса (западный перенос):

ЕТР, Прибайкалье

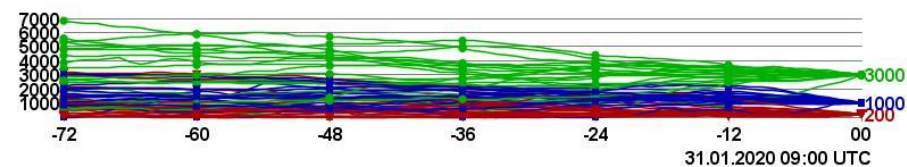
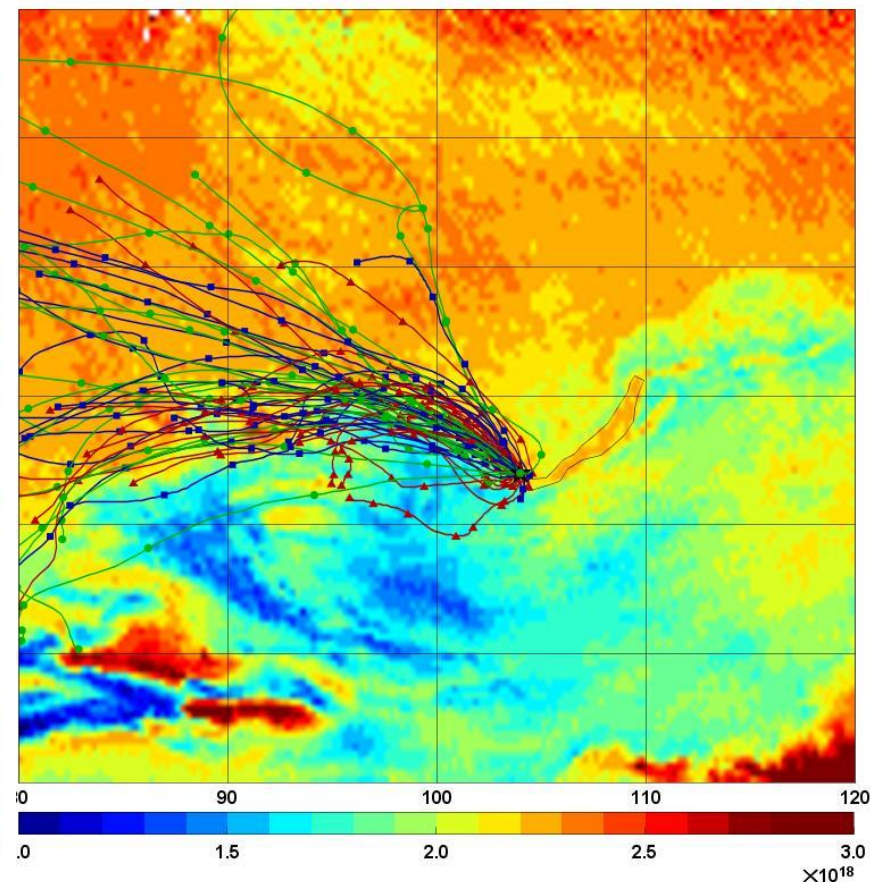
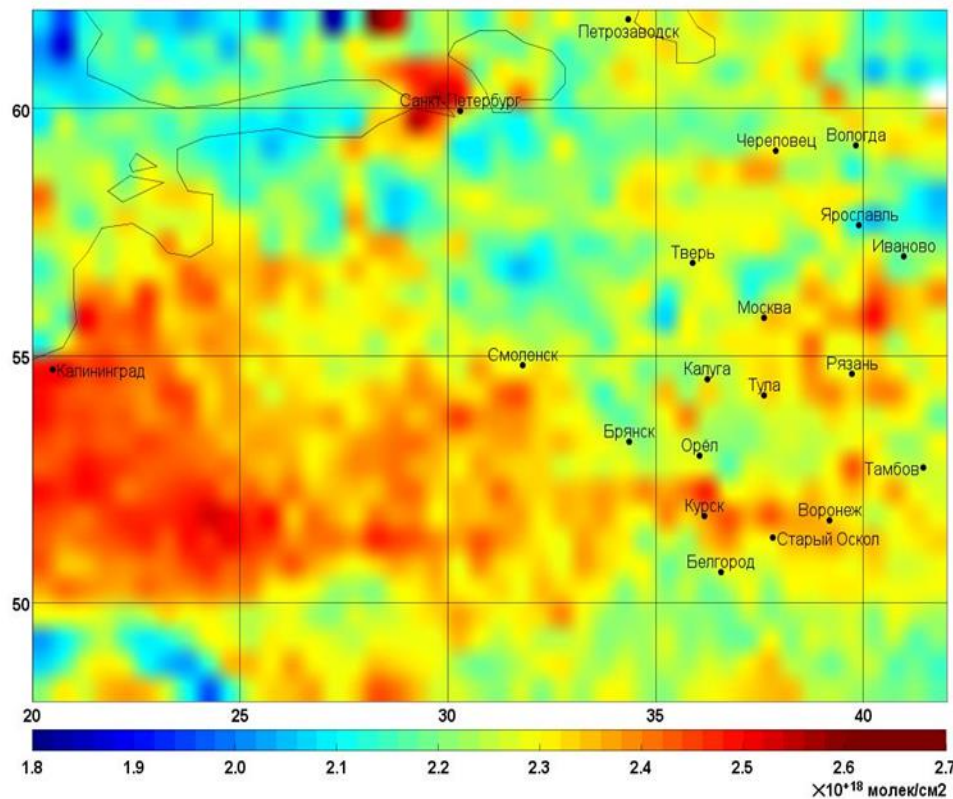
метод фильтрации восточной составляющей ветра

Прибайкалье

метод выборки по обратным траекториям

Tropomi OS CO 2020.01.31-03.02 0.25x0.25

TROPOMI OS CO, зап. перенос, март 2020, 0.5x0.5 град.



Примеры систематизации орбитальных распределений по направлению переноса (западный перенос):

ЕТР, Прибайкалье

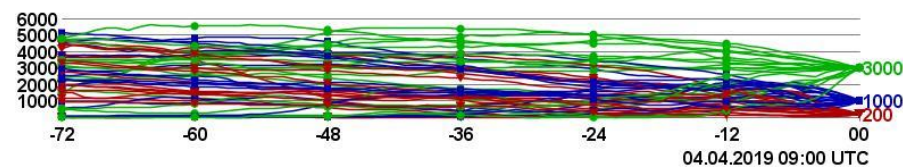
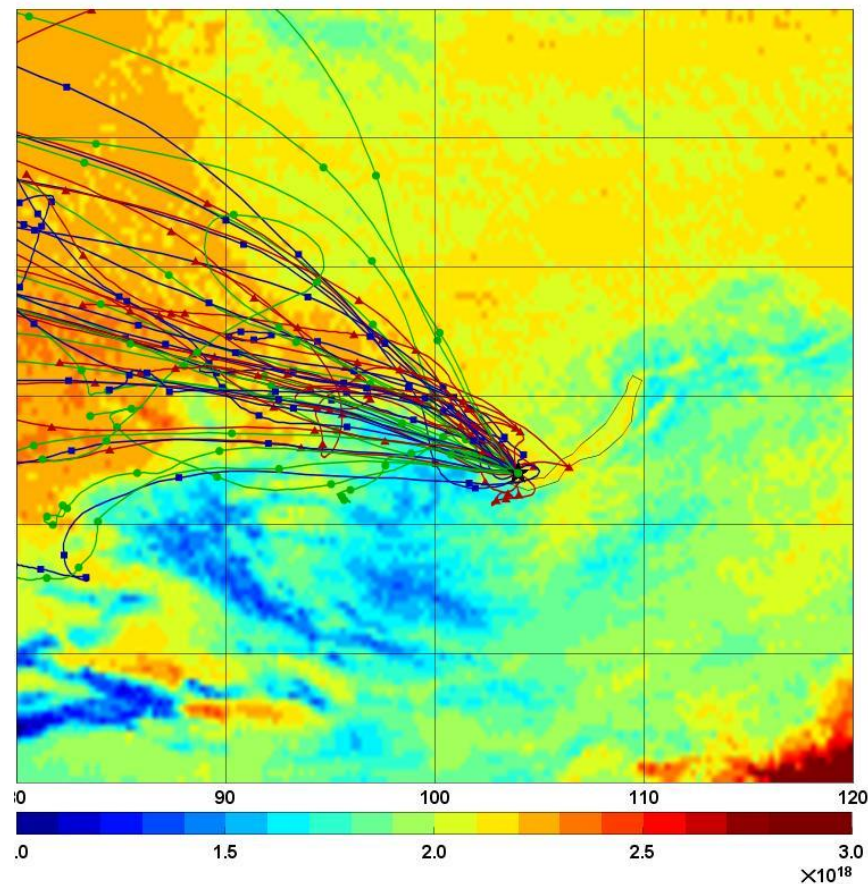
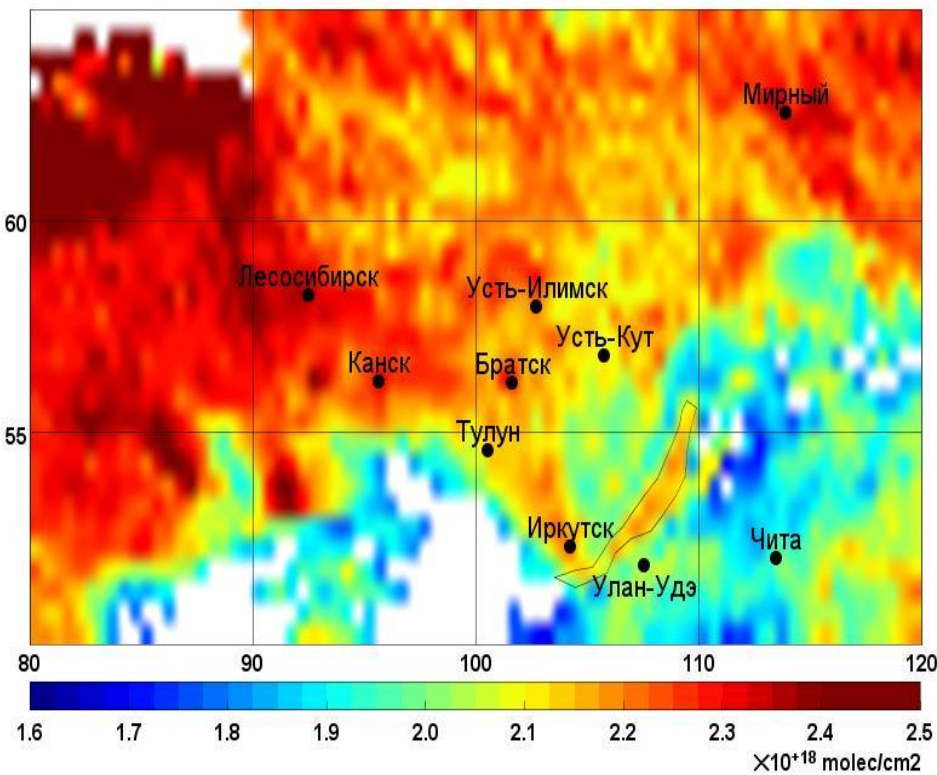
метод фильтрации восточной составляющей ветра

Прибайкалье

метод выборки по обратным траекториям

Tropomi OS CO 2019.04.04-04.23 0.25x0.25

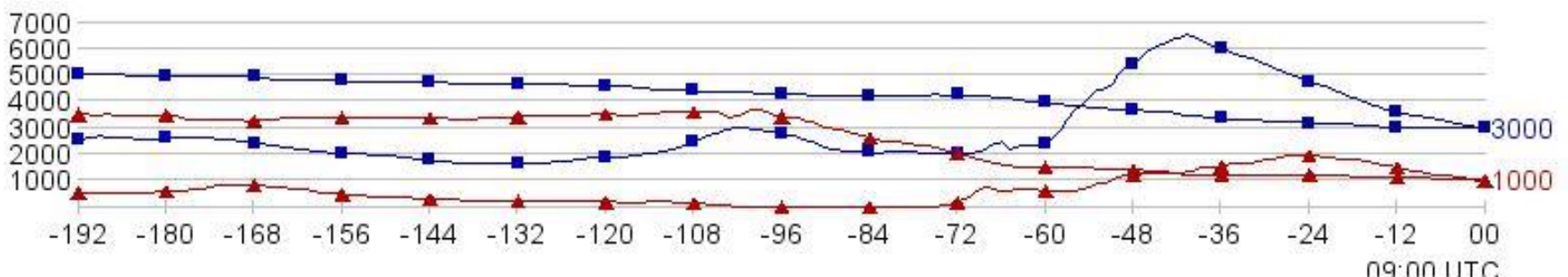
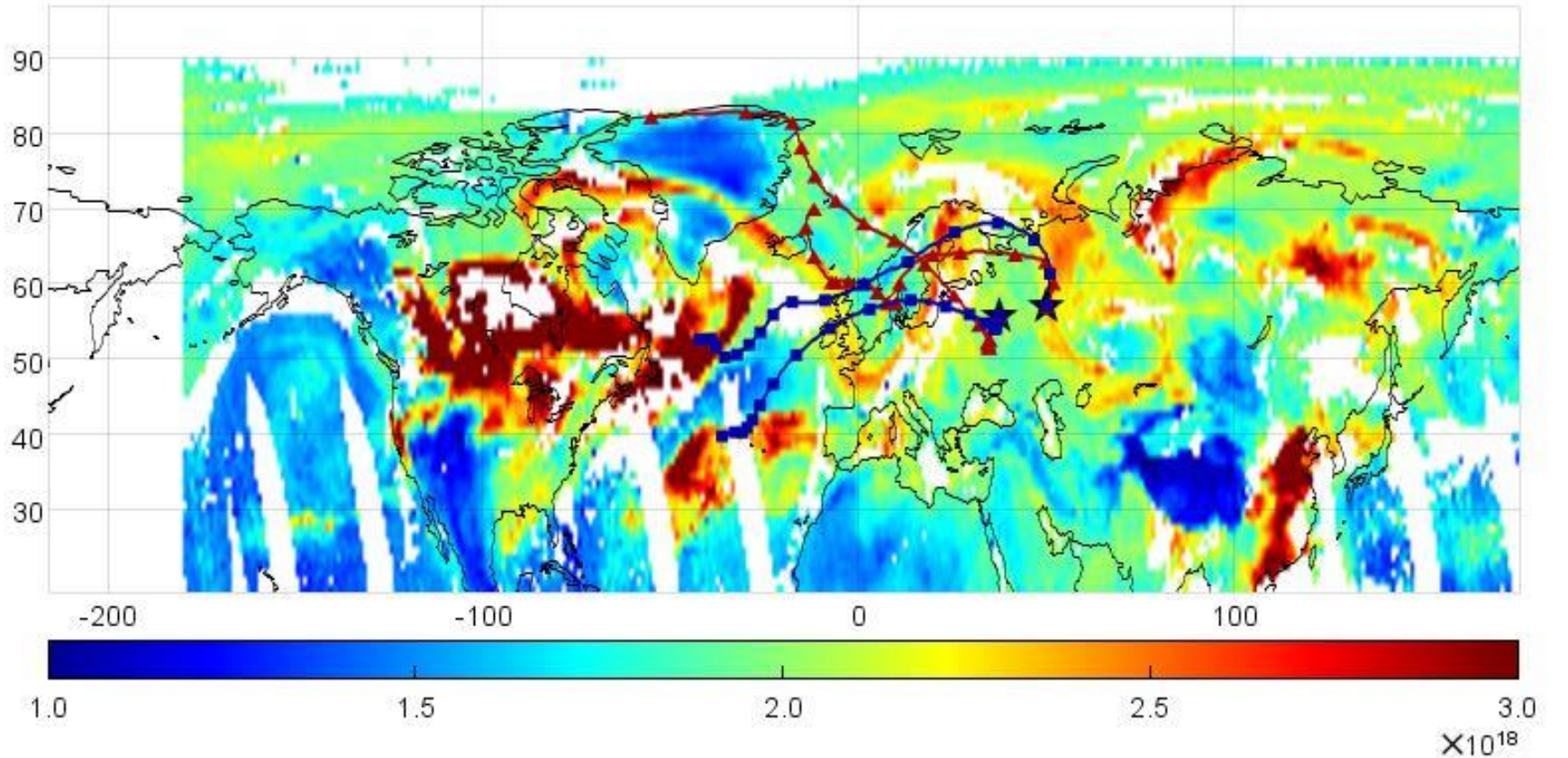
ТРОПОМИ_ОС_СО_зап.перенос_февраль_2020_Байкал



04.04.2019 09:00 UTC

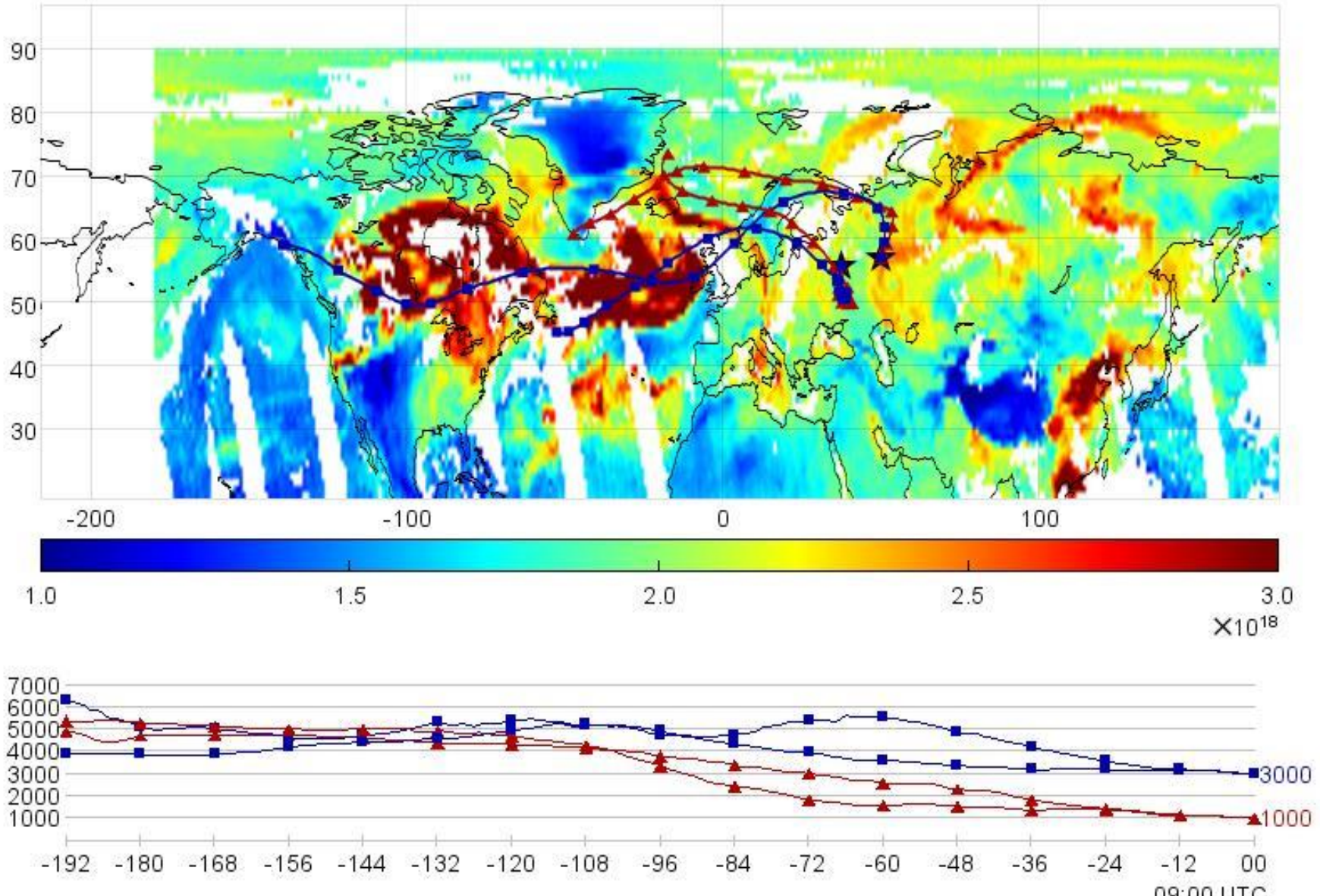
Пример переноса CO через океан (по данным TROPOMI)

carbonmonoxide_total_column 25.08.2018



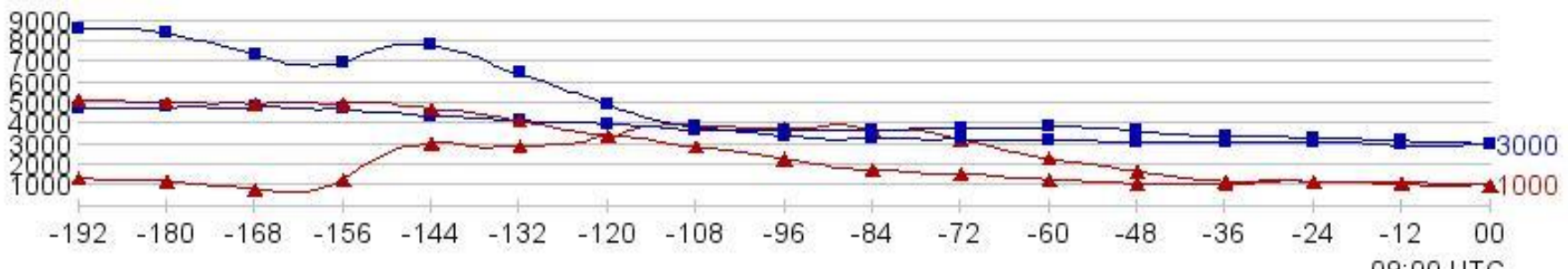
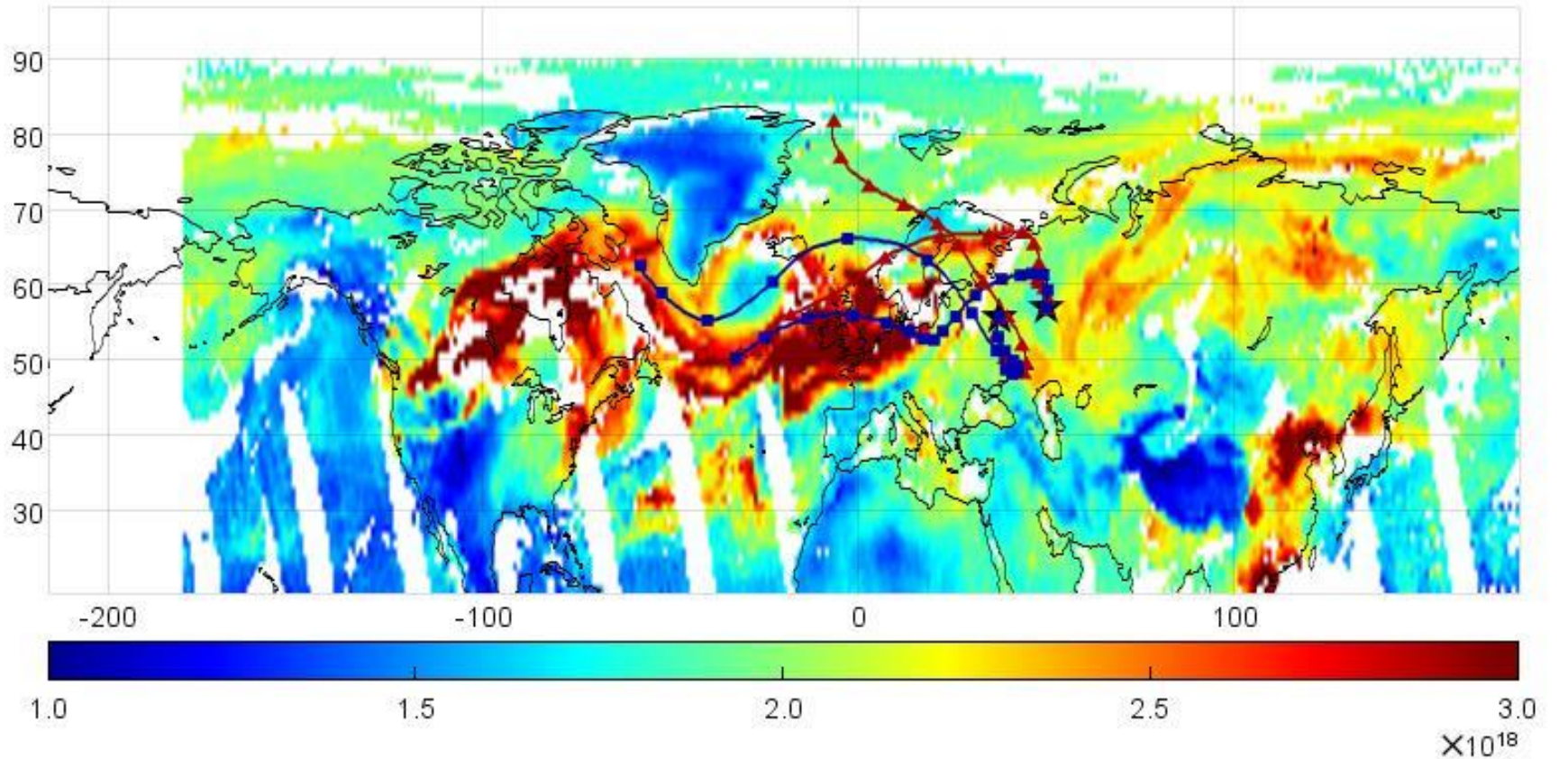
Пример переноса CO через океан (по данным TROPOMI)

carbonmonoxide_total_column 26.08.2018



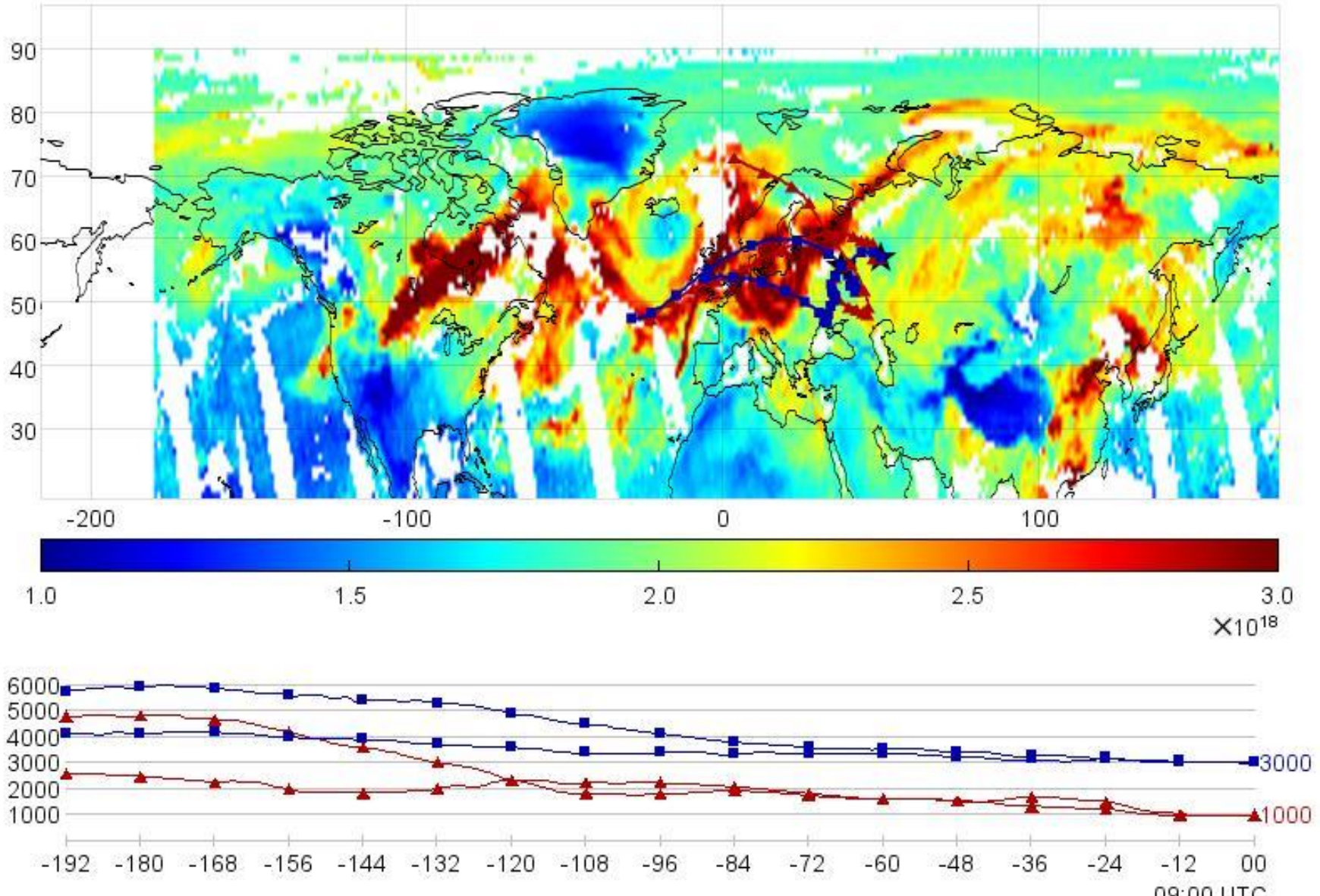
Пример переноса CO через океан (по данным TROPOMI)

carbonmonoxide_total_column 27.08.2018



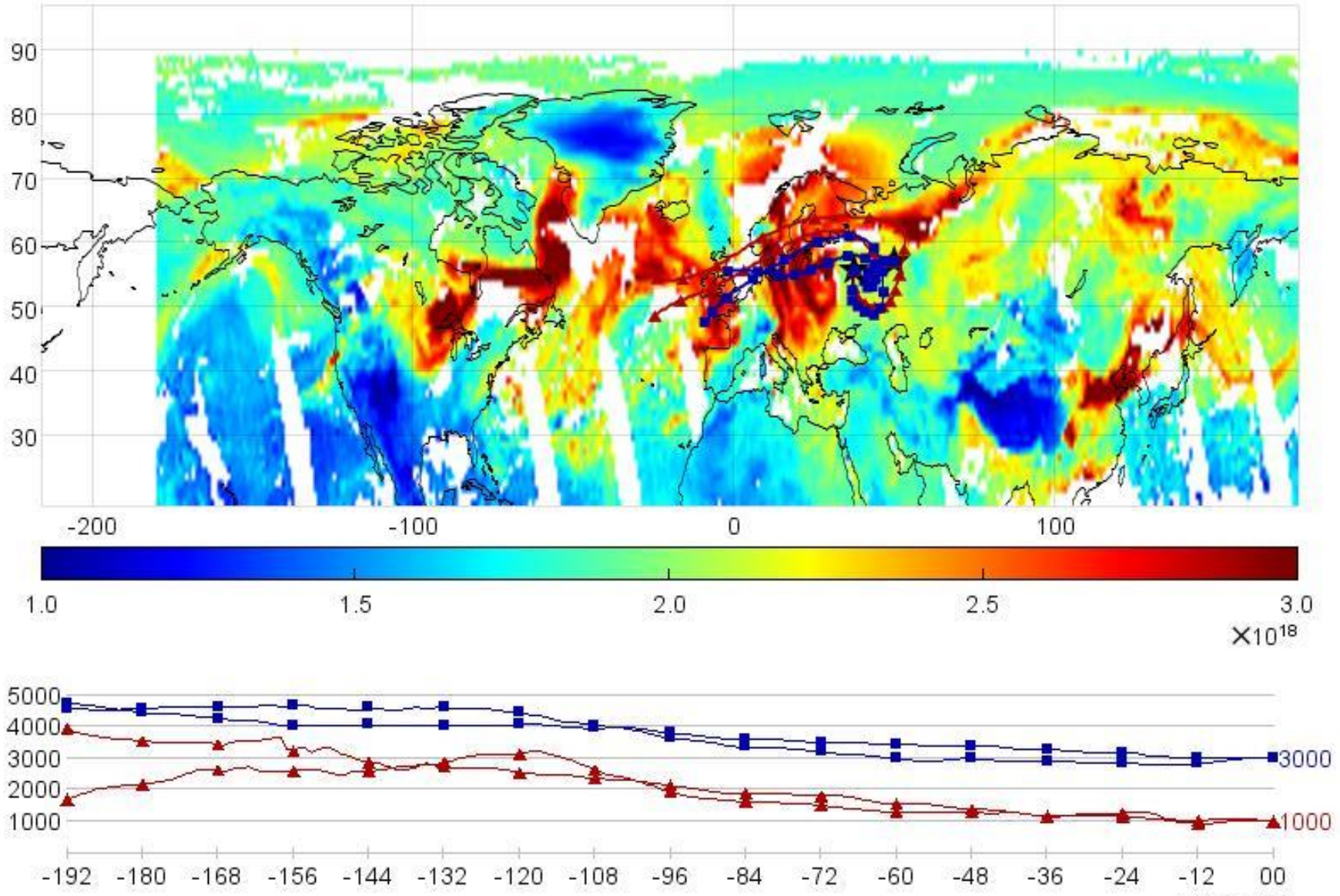
Пример переноса CO через океан (по данным TROPOMI)

carbonmonoxide_total_column 28.08.2018



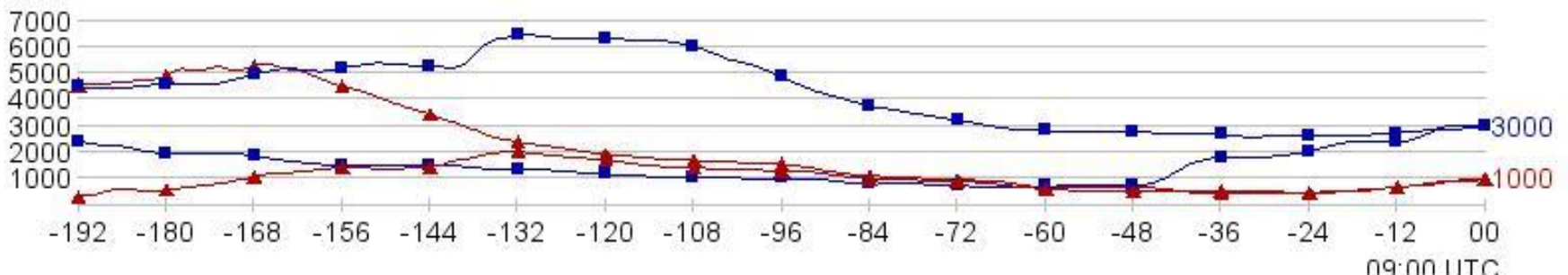
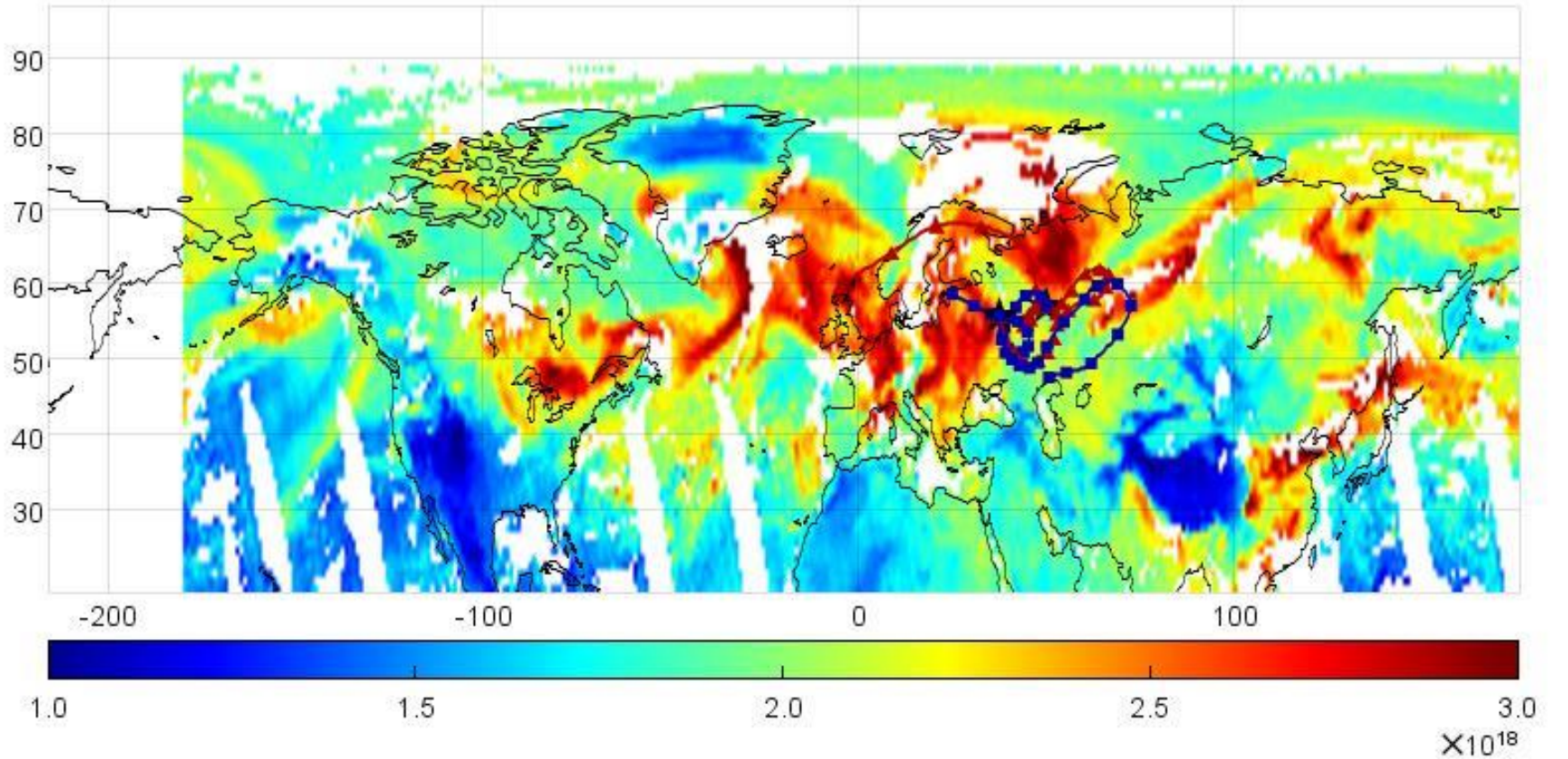
Пример переноса CO через океан (по данным TROPOMI)

carbonmonoxide_total_column 29.08.2018



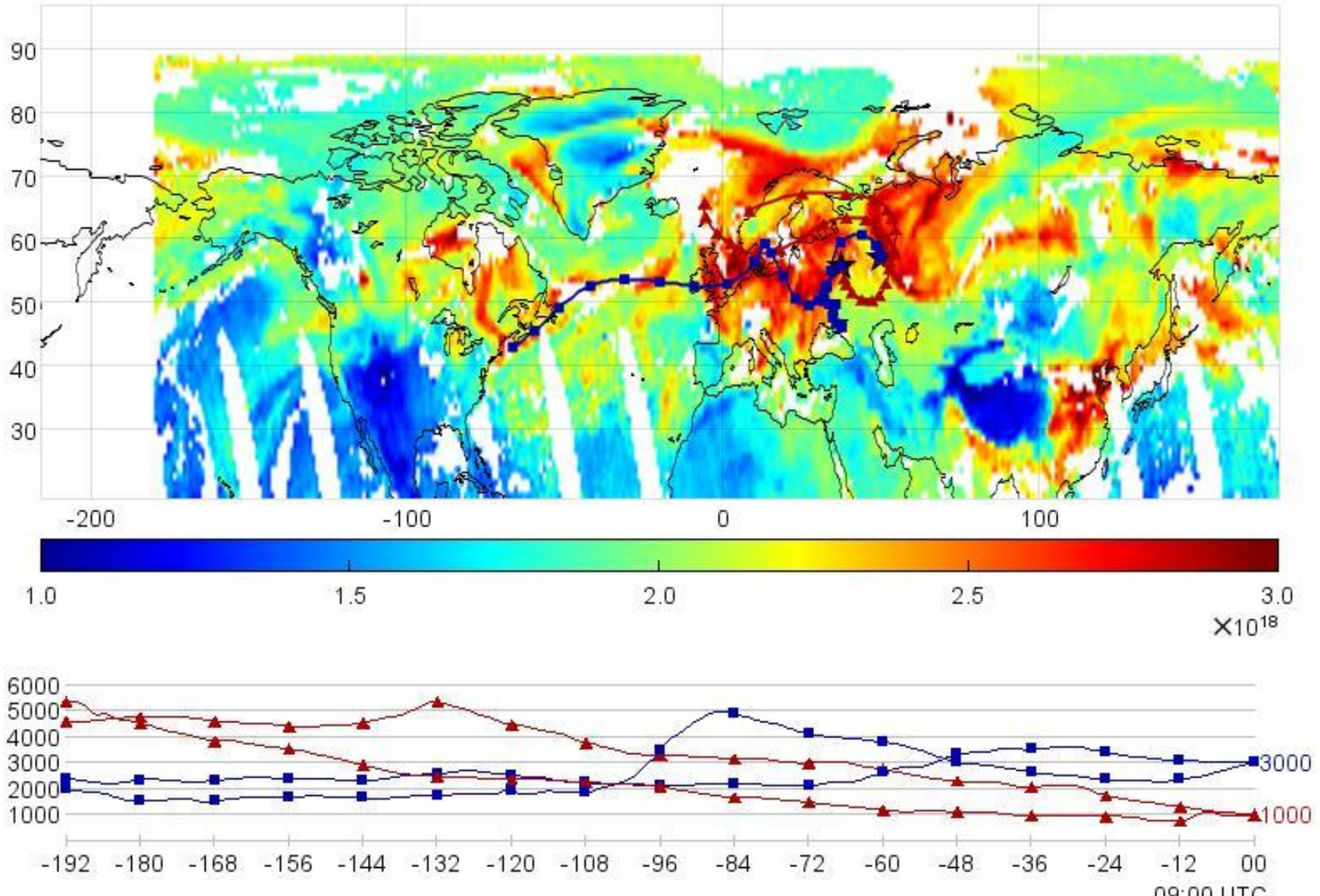
Пример переноса CO через океан (по данным TROPOMI)

carbonmonoxide_total_column 30.08.2018



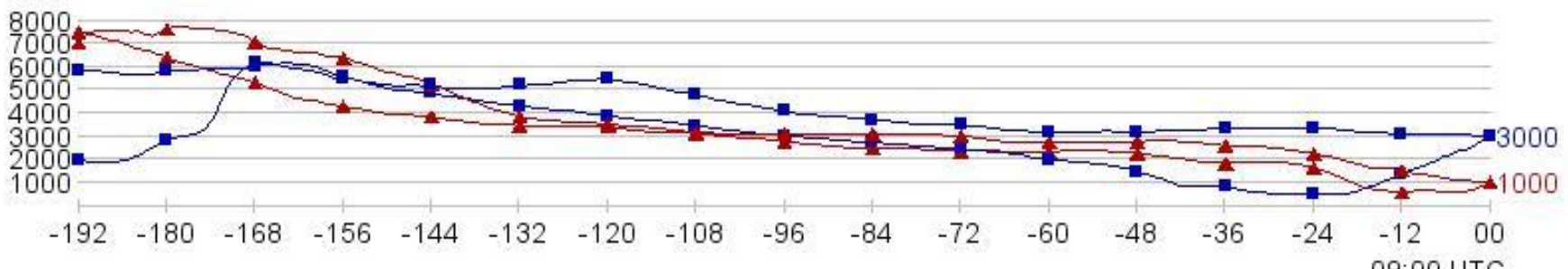
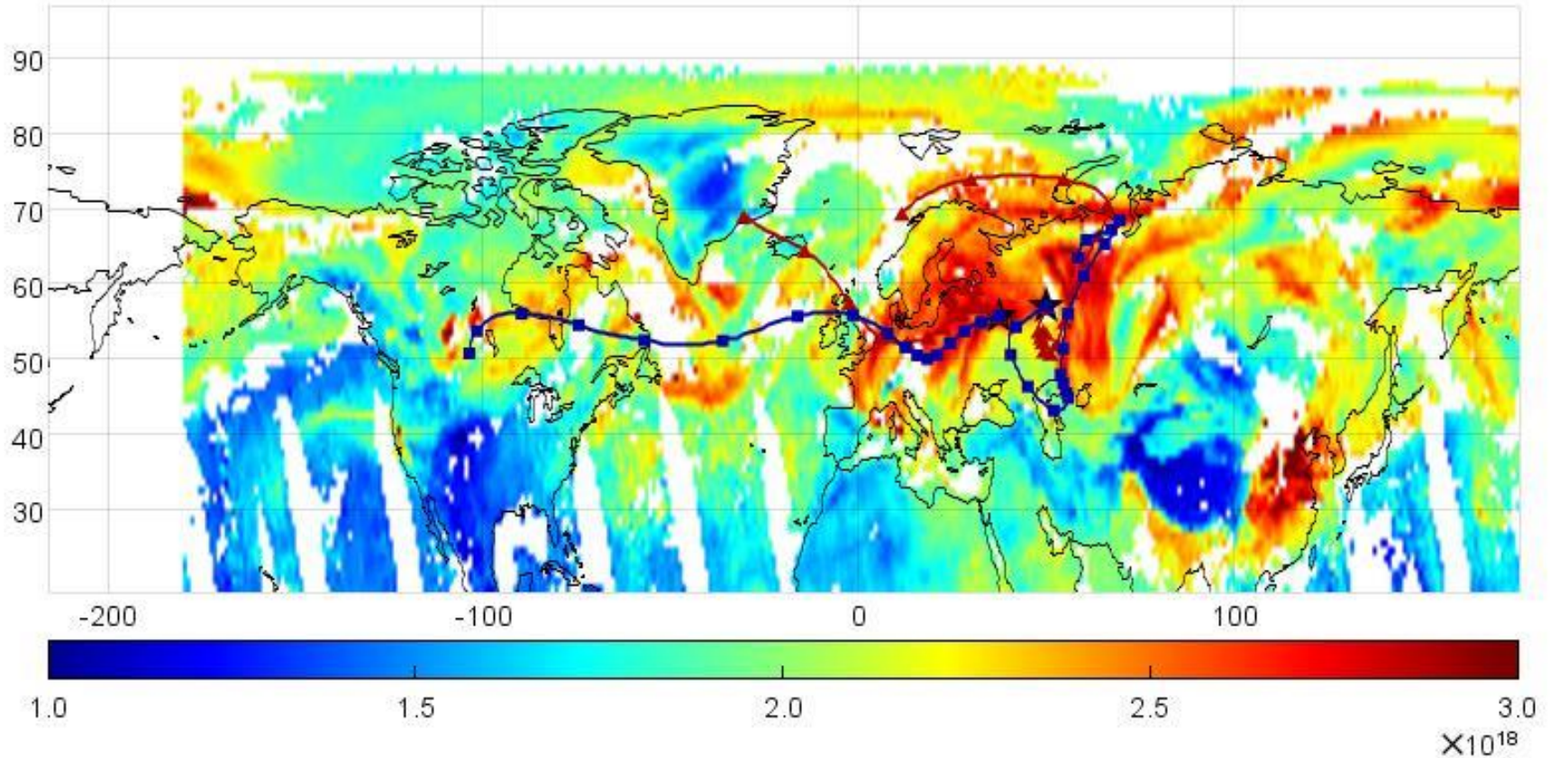
Пример переноса CO через океан (по данным TROPOMI)

carbonmonoxide_total_column 31.08.2018



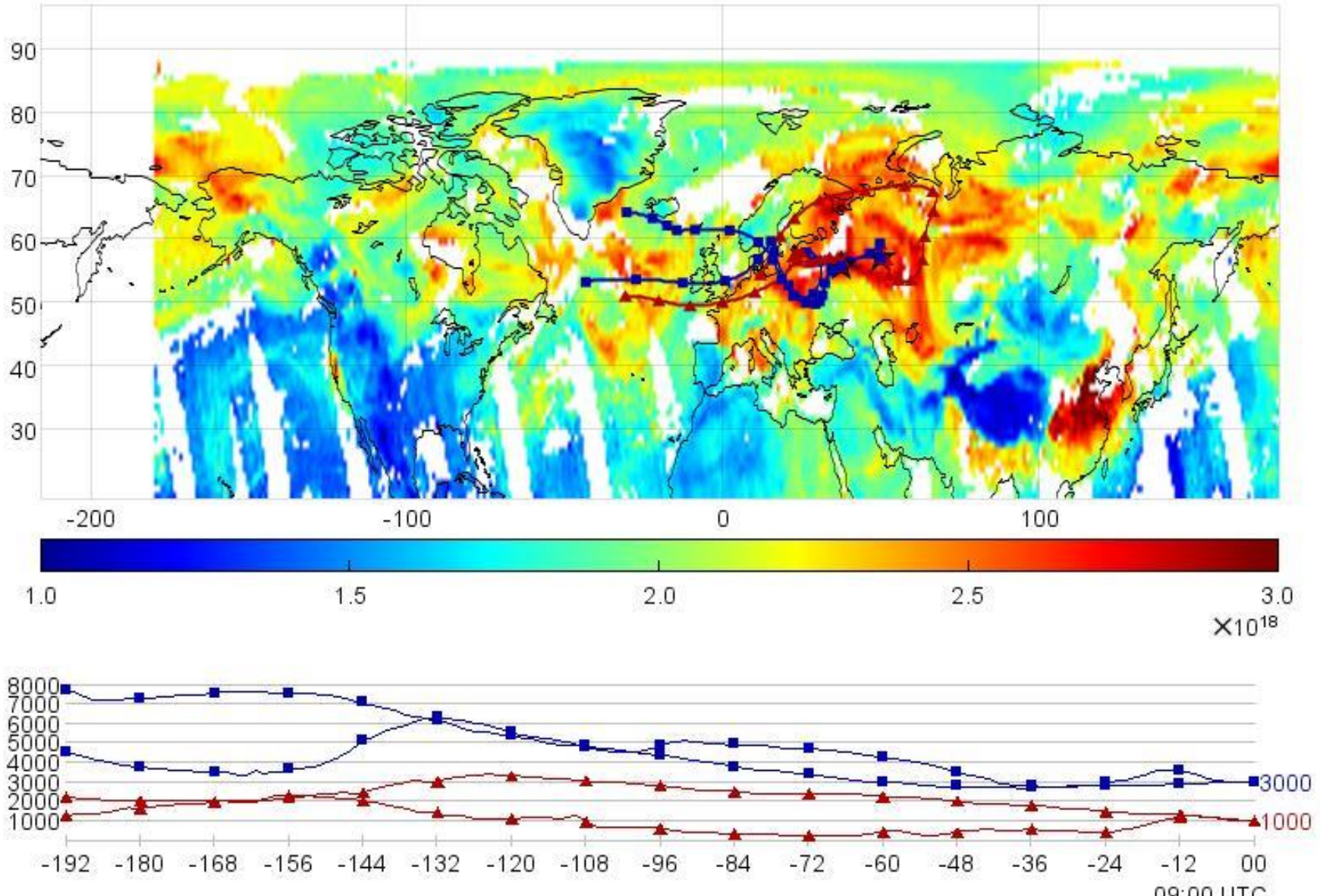
Пример переноса CO через океан (по данным TROPOMI)

carbonmonoxide_total_column 01.09.2018



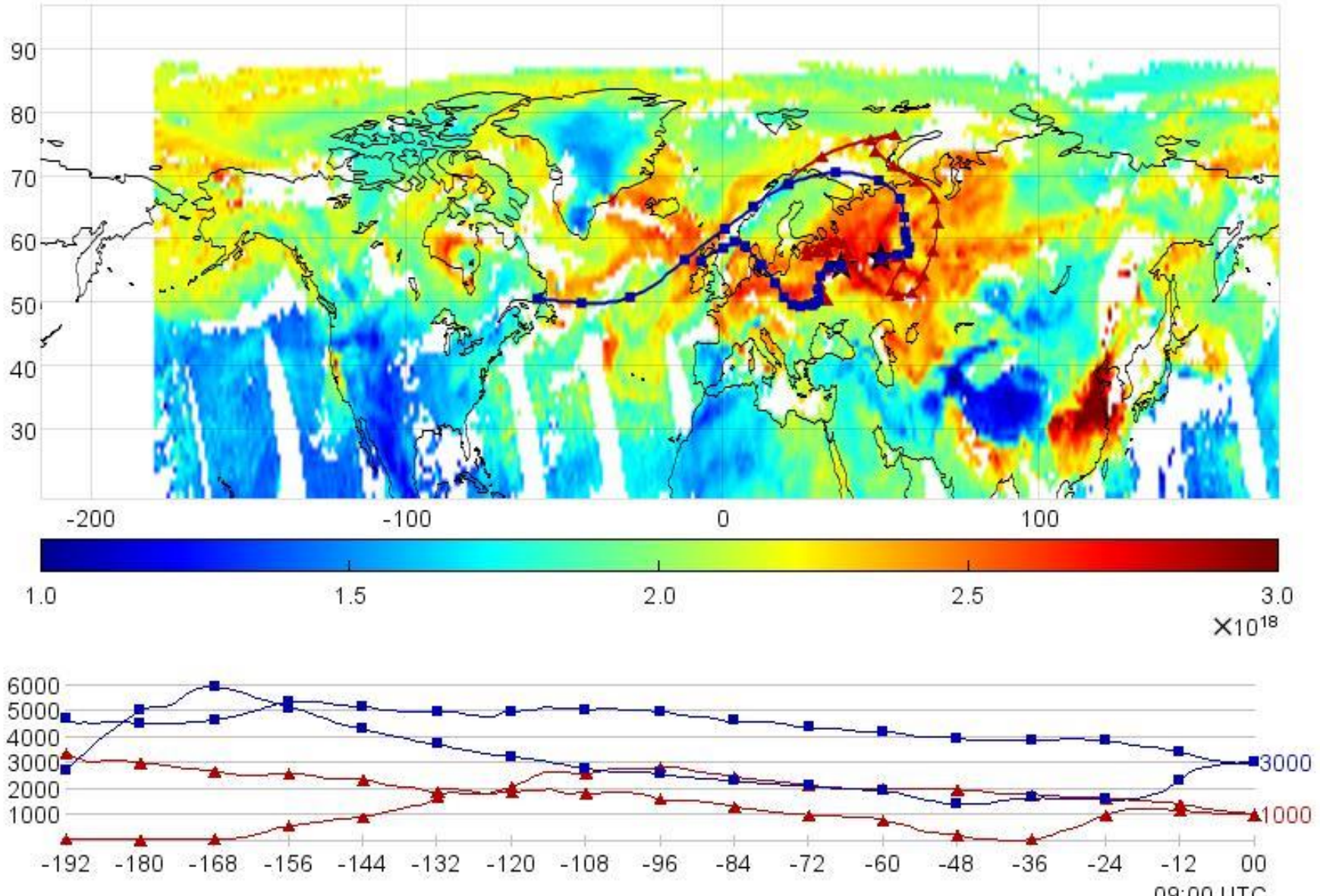
Пример переноса CO через океан (по данным TROPOMI)

carbonmonoxide_total_column 02.09.2018



Пример переноса CO через океан (по данным TROPOMI)

carbonmonoxide_total_column 03.09.2018



Возможное развитие программы

Ближайшие возможности:

- Сохранение данных L3 TROPOMI в формате NetCdf (уменьшение объема данных, ускорение расчетов)
- Обработка данных других орбитальных приборов (VIIRS, IASI, OSCO, китайские и Российские системы) - не обязательно данных о составе атмосферы
- Визуализация данных с передвижных пунктов и платформ (автомобильные, самолетные, железнодорожные, корабельные экспедиции)
- Подключение метеополей, вычисление высоты ПСА с последующей фильтрацией при построении распределений
- Ассимиляция с глобальными транспортно-химическими моделями для уточнения оценок трендов и эмиссий

Возможное развитие программы

Ближайшие возможности:

- Сохранение данных L3 TROPOMI в формате NetCdf (уменьшение объема данных, ускорение расчетов)
- Обработка данных других орбитальных приборов (VIIRS, IASI, OSCO, китайские и Российские системы) - не обязательно данных о составе атмосферы
- Визуализация данных с передвижных пунктов и платформ (автомобильные, самолетные, железнодорожные, корабельные экспедиции)
- Подключение метеополей, вычисление высоты ПСА с последующей фильтрацией при построении распределений
- Ассимиляция с глобальными транспортно-химическими моделями для уточнения оценок трендов и эмиссий

Программа была использована при выполнении работ по проектам РФФИ № 17-29-05102 ОФИ_м, РНФ № 16-17-10275, 20-17-00200 и 21-1700210 и в рамках Соглашения № 075-15-2020-776 с Министерством высшего образования и науки РФ

Спасибо за внимание!