

**ОРГАНИЗАЦИЯ ПОДСИСТЕМЫ РАБОТЫ С
ИНФОРМАЦИОННЫМИ ПРОДУКТАМИ О
МАЛЫХ ГАЗОВЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ
АТМОСФЕРЫ В ЦКП «ИКИ-МОНИТОРИНГ»**

Бриль Алексей Алексеевич

ИКИ РАН, Москва

SDM-2023



Введение

Загрязнения атмосферного воздуха являются одним из основных факторов, оказывающих негативное влияние на здоровье населения и окружающую среду. Повышение концентрации различных веществ в атмосфере разрушает озоновый слой Земли, приводит к возникновению кислотных дождей, к снижению плодородия почвы, воздействует на дыхательные пути и легкие человека, вызывает изменения состава крови. Поэтому, необходим комплексный мониторинг состояния атмосферы, включающий оценку концентрации определенного вещества в атмосфере.

Для решения задачи мониторинга качества воздуха могут быть использованы данные различных спутниковых систем ДЗЗ. Такие данные позволяют не только получать информацию о концентрации определенного вещества в атмосфере в режиме близком к реальному времени, но и предоставляют информацию о состоянии атмосферы на труднодоступных территориях, которую невозможно получить другими способами. В работе описывается технология построения композитных изображений, содержащих информацию о концентрации малых газовых составляющих на территорию всего Земного шара.

Продукты концентрации газовых веществ, доступные в ИС Вега-Science

Для мониторинга состояния воздуха в информационной системе Вега-Science (<http://sci-vega.ru/>, семейство Созвездие-Вега), функционирующей на базе Центра Коллективного Пользования ЦКП «ИКИ-Мониторинг» (<http://ckp.geosmis.ru/>) предоставляется доступ к информационным продуктам концентрации газовых веществ по данным спутников Sentinel-5P (TROPOMI), AURA(OMI).

Данные со спутников предоставляются из следующих центров распространения данных:

AURA - LAADS DAAC (<https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/>)

SENTINEL-5P - Copernicus Open Access Hub (<https://scihub.copernicus.eu/>)

TROPOMI Copernicus Sentinel-5P

30 апреля 2018 года ESA был запущен спутник Sentinel-5 Precursor в рамках программы Copernicus, который с помощью прибора TROPOMI измеряет концентрацию газовых составляющих в различных слоях атмосферы. Целью TROPOMI является обеспечение точных и своевременных наблюдений за ключевыми элементами состава атмосферы для мониторинга качества воздуха, климата и озонового слоя.

<http://www.tropomi.eu/data-products/>

| Название | Диапазон дат в ЦКП «ИКИ-Мониторинг» | Продукт |
|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| Sulfur dioxide (SO ₂) | 2018-06-26 – по н.в. | Концентрация диоксида серы в полном столбе |
| Ozone (O ₃) | 2018-04-30 – по н.в. | Концентрация озона в полном столбе |
| Carbon monoxide (CO) | 2018-04-30 – по н.в. | Концентрация угарного газа в полном столбе |
| UV Aerosol Index | 2018-06-28 – по н.в. | Аэрозольный индекс состояния атмосферы |
| Methane (CH ₄) | 2018-04-30 – по н.в. | Концентрация метана в полном столбе |
| Nitrogen dioxide (NO ₂) | 2018-04-30 – по н.в. | Концентрация диоксида азота в стратосфере и тропосфере |

Таблица доступных продуктов Level 2 TROPOMI

Ozone Monitoring Instrument (OMI) AURA

15 июля 2004 года NASA был запущен научно-исследовательский спутник AURA, предназначенный для изучения атмосферы Земли. Основной задачей спутника является контроль за изменением климата на Земле, загрязнением воздуха, состоянием озонового слоя Земли.

OMI - совместная разработка учёных из Нидерландов и Финляндии. Он является ключевым прибором на AURA для мониторинга озонового слоя. OMI измеряет стандартные загрязнители, такие как O₃, NO₂, SO₂ и аэрозоли. OMI был создан на основе прибора TOMS (NASA) и прибора GOME (ESA, на спутнике ERS-2). Он может измерять гораздо больше атмосферных компонентов, чем TOMS, и обеспечивает гораздо лучшее разрешение на местности, чем GOME (13 км x 25 км - OMI против 40 км x 320 км - GOME)

<https://aura.gsfc.nasa.gov/omi.html>

| Название | Диапазон дат в ЦКП «ИКИ-Мониторинг» | Продукт |
|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| Sulfur dioxide (SO ₂) | 2004-10-02 – по н.в. | Концентрация диоксида серы в полном столбе |
| UV Aerosol Index | 2006-07-01 – по н.в. | Аэрозольный индекс состояния атмосферы |
| Nitrogen dioxide (NO ₂) | 2006-07-01 – по н.в. | Концентрация диоксида азота в тропосфере |

Таблица доступных продуктов Level 2 OMI

Наращивание объемов архивов ЦКП «ИКИ-Мониторинг» за счет увеличения числа спутниковых систем ДЗЗ

- 1. OMPS (озон, аэрозоль, диоксид серы,), стоит на NPP и последующих JPSS;
- 2. CRiS (парниковые газы, в основном оксид и диоксид углерода, плюс верт. профили температуры, давления и влажности), стоит на NPP и последующих JPSS;
- 3. MOPITT (CO), стоит на Терре;
- 4. MISR (аэрозоль), стоит на Терре;

Исходные данные

Исходные спутниковые данные, содержащие информацию о концентрации газовых составляющих в атмосфере, предоставляются в двух вариантах:

- сеансы,

(содержащие информацию со спутника за определенное время съемки, как правило – 5-10 минут)

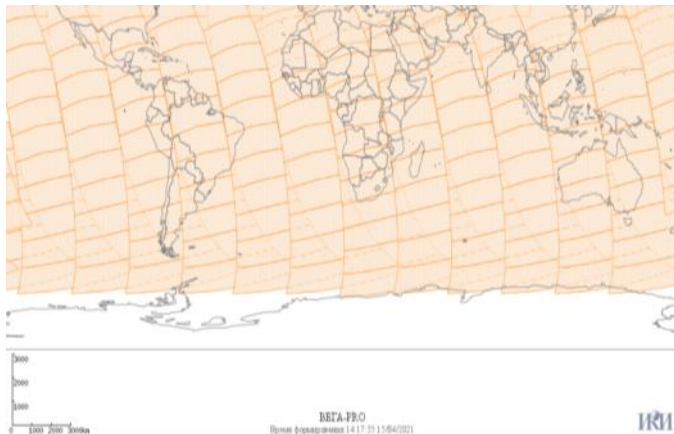
- витки,

(содержащие информацию со спутника, совершившего один полный оборот вокруг Земли.)

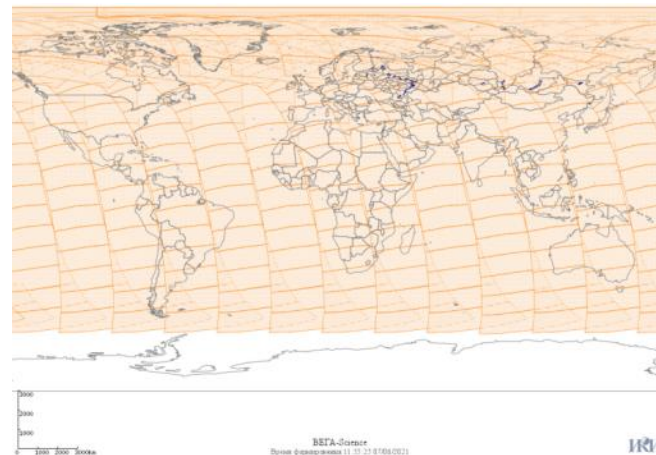
В качестве унифицированного формата хранения исходных данных был выбран формат хранения данных по сеансам. Таким образом, используя мета информацию исходных данных, в том числе время начала и время конца съемки, данные, содержащие информацию с одного полного оборота спутника вокруг Земли, нарезаются на пяти минутные сеансы.

Покрытие данными TROPOMI и OMI в архивах ЦКП«ИКИ-Мониторинг»

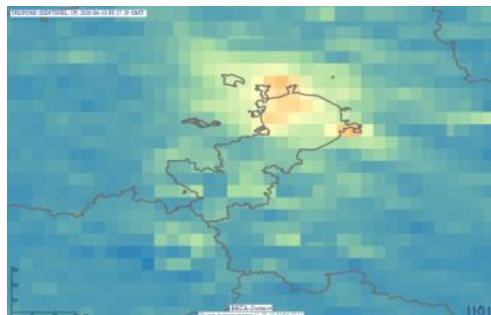
В архивах ЦКП«ИКИ-Мониторинг» доступны данные TROPOMI с апреля 2018 года и данные OMI с декабря 2004 года. Доступны продукты по газам: диоксид серы, диоксид азота, аэрозольный индекс, озон, метан, угарный газ.



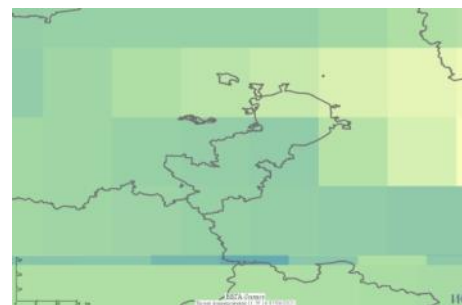
Покрытие сеансами TROPOMI на один день в архивах ЦКП«ИКИ-Мониторинг»



Покрытие сеансами OMI на один день в архивах ЦКП«ИКИ-Мониторинг»



Пример разрешения данных TROPOMI (3.5 x 5.5 км)



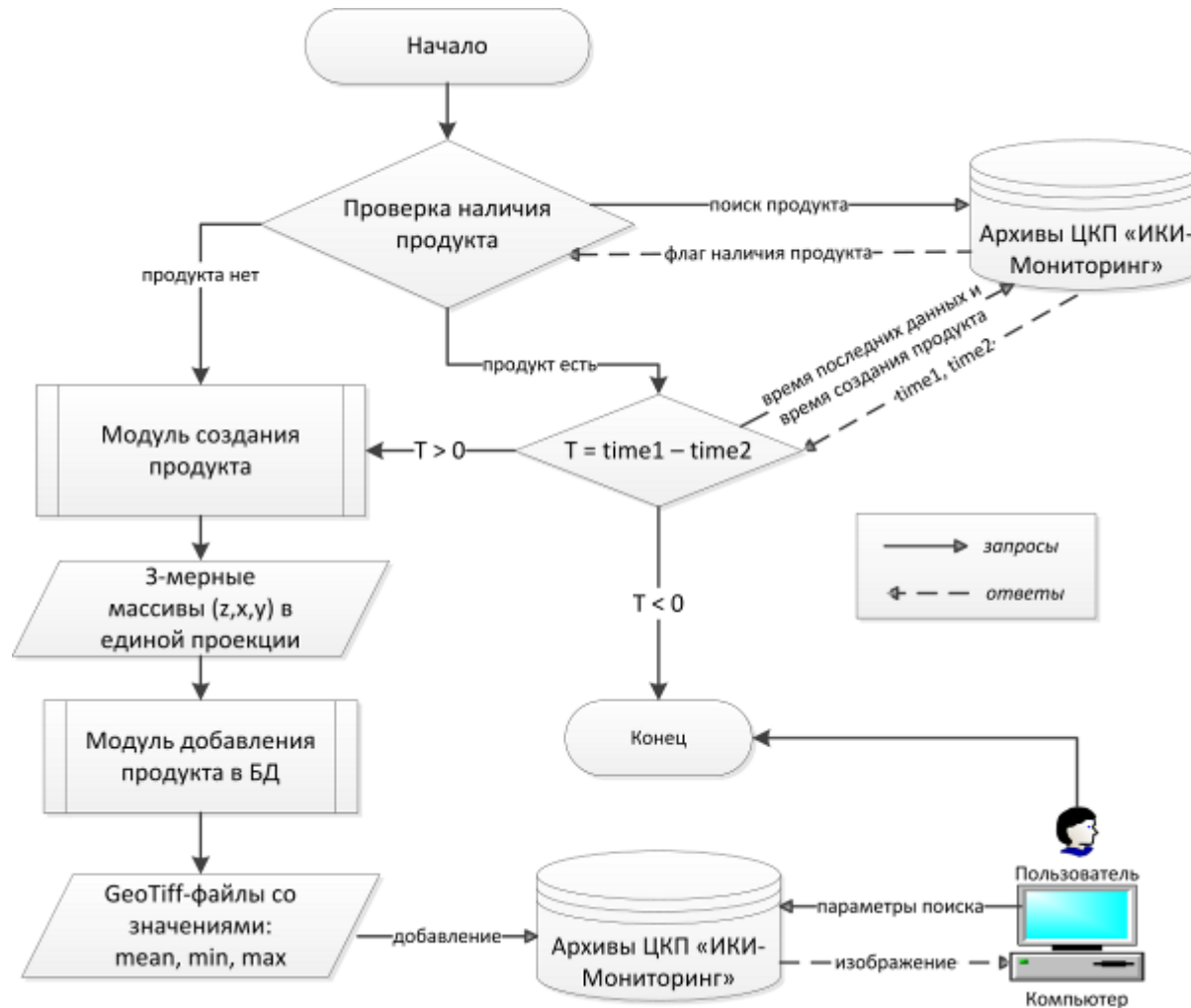
Пример разрешения данных OMI (13 x 24 км)

Построение продуктов композитов

Для удобства использования и анализа динамики состояния атмосферы, в том числе для построения рядов долговременных измерений, предпочтительно использовать композитные изображения за различные временные промежутки.

На базе языка программирования python с использованием стандартных библиотек работы с растровыми и векторными данными создано автоматизированное программное обеспечение по построению таких статистических временных композитов. При этом созданный программный код позволяет создавать статистические композиты за любой промежуток времени и может быть применен к данным любых спутниковых систем.

Блок-схема построения композитов



Композитные изображения

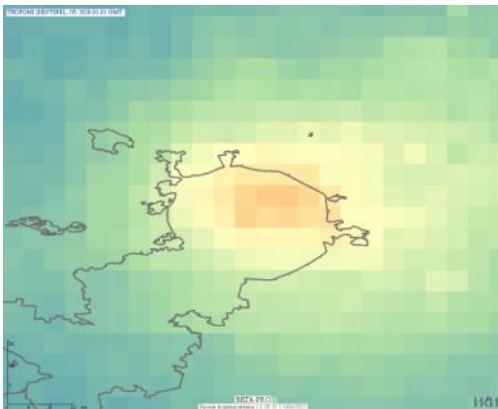
На основе ежедневно поступающих сеансов TROPOMI и OMI в автоматическом режиме создаются композитные изображения, загружаемые в архивы ЦКП «ИКИ-Мониторинг» и доступные в онлайн-сервисах, разрабатываемых в ИКИ РАН, в том числе в ИС Vega-Science.

Временное разрешение композитных изображений:

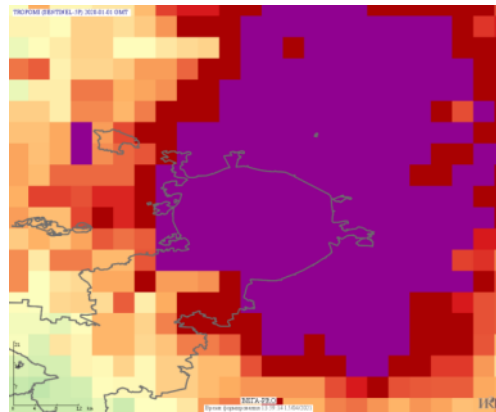
- Ежедневные
- Еженедельные
- Ежемесячные
- Ежегодные
- Многолетние

Создаваемые продукты на основе значений концентраций для каждой из доступных газовых составляющих:

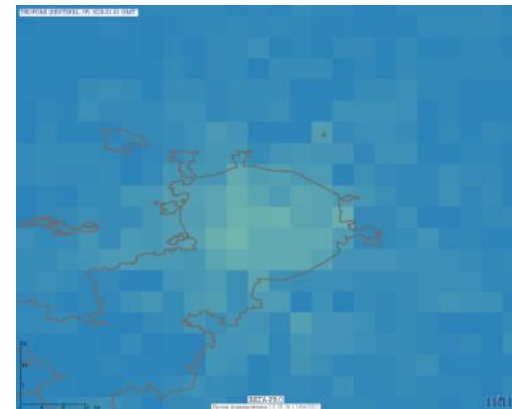
- Среднее значение
- Максимальное значение
- Минимальное значение



Среднее значение концентрации NO2 за 2020 год (Москва)

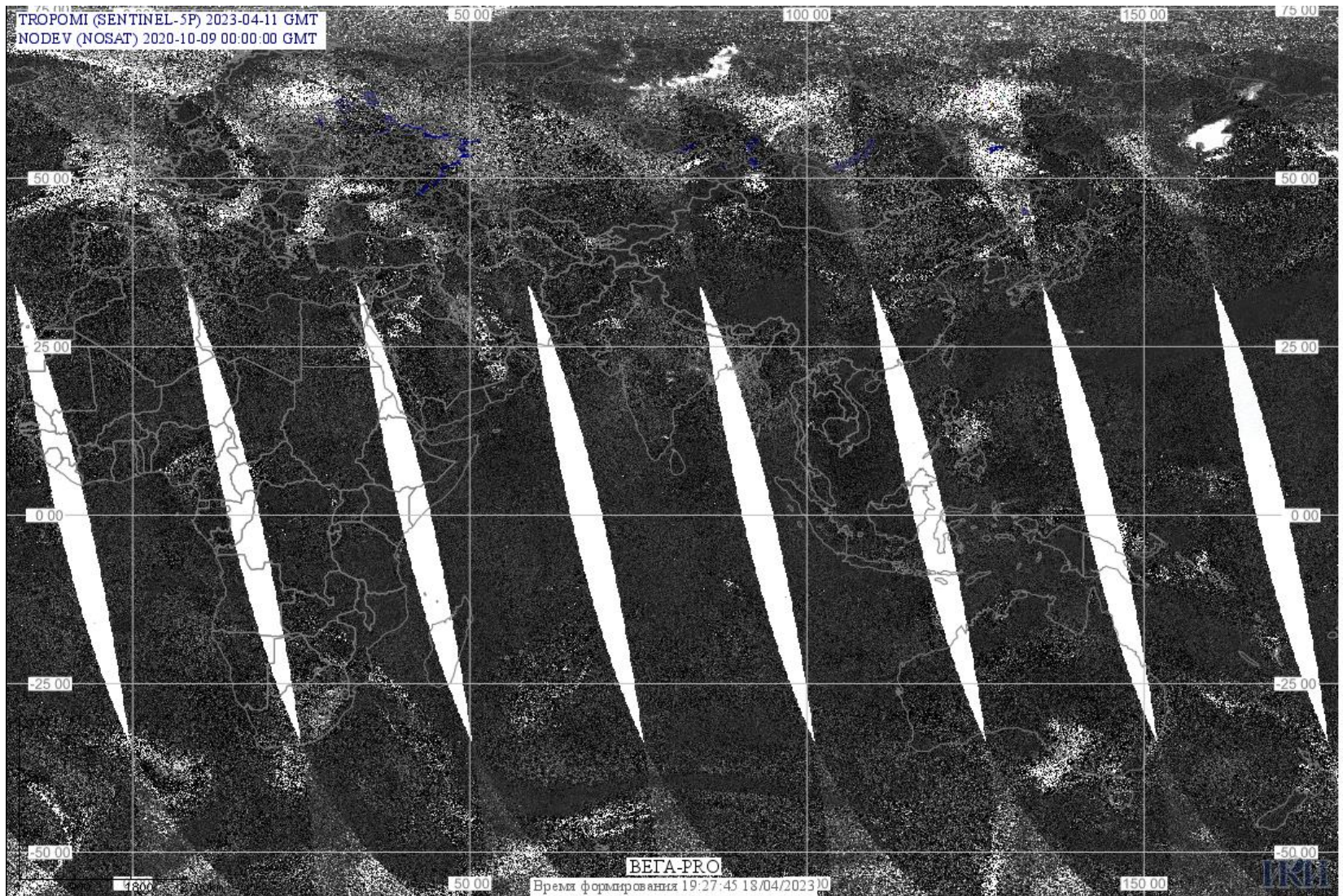


Максимальное значение концентрации NO2 за 2020 год (Москва)



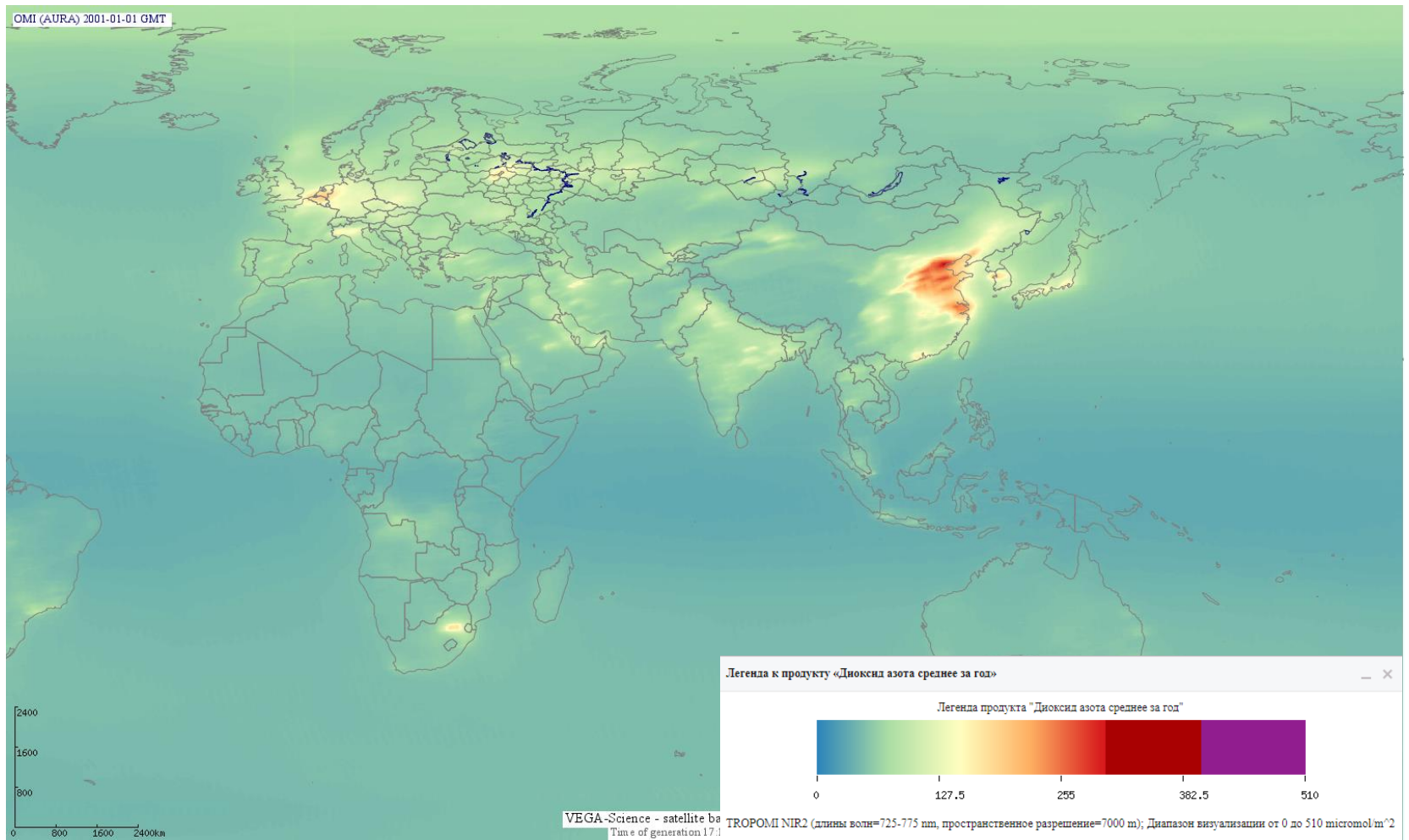
Минимальное значение концентрации NO2 за 2020 год (Москва)

Улучшение качества продуктов



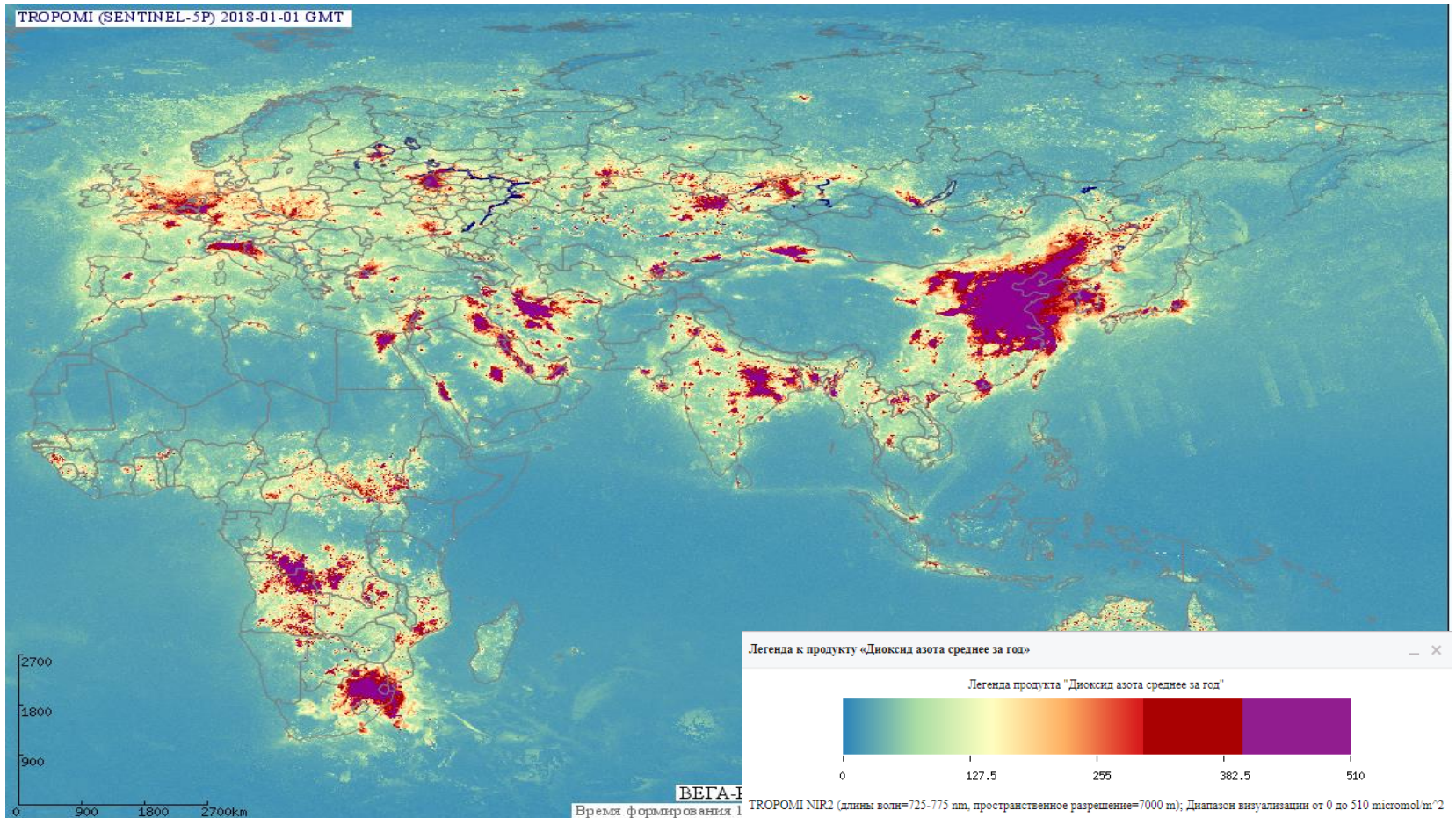
Композитное изображение диоксид серы по прибору TROPOMI за 11 апреля 2023 года

Примеры созданных композитных изображений



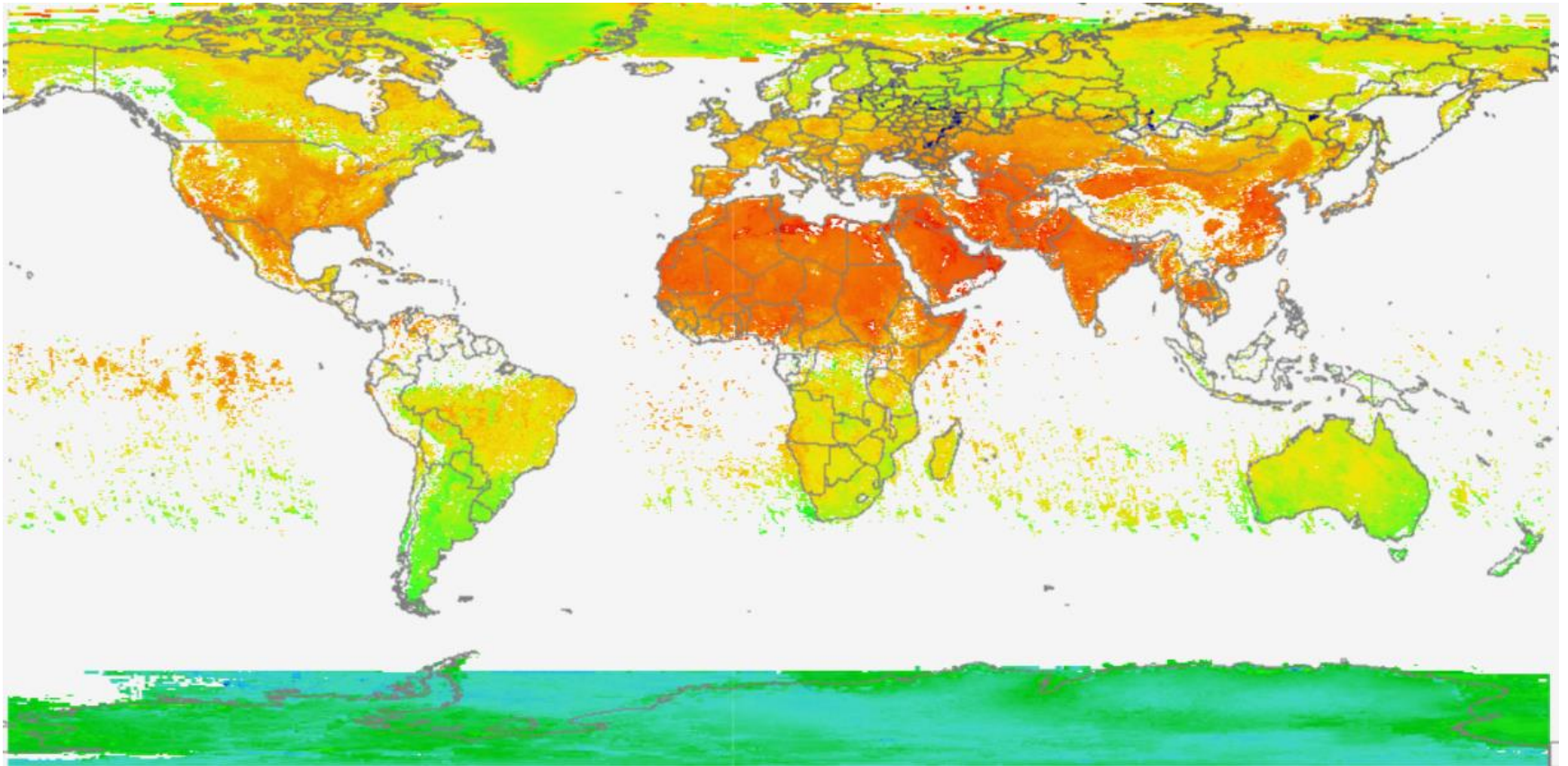
*Многолетнее композитное изображение со средней
концентрацией NO2 по OMI за 2016-2021 года*

Примеры созданных композитных изображений



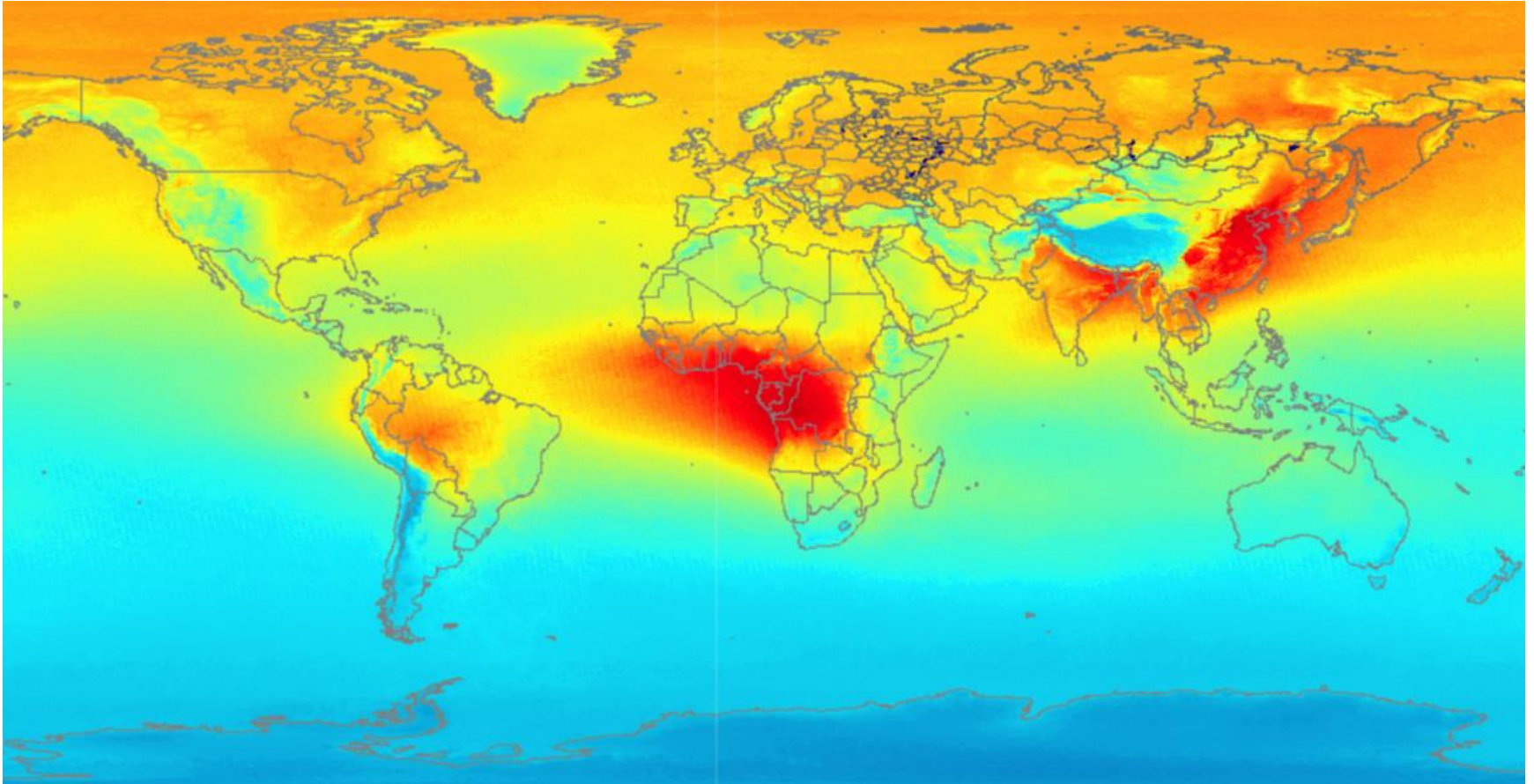
Многолетнее композитное изображение с максимальной концентрацией NO₂ по TROPOMI за 2018-2021 года

Примеры созданных композитных изображений



Годовое композитное изображение с концентрацией метана по TROPOMI за 2021 год

Примеры созданных композитных изображений



*Годовое композитное изображение с концентрацией
CO по TROPOMI за 2021 год*

Возможности работы с информационными продуктами о концентрации МГС

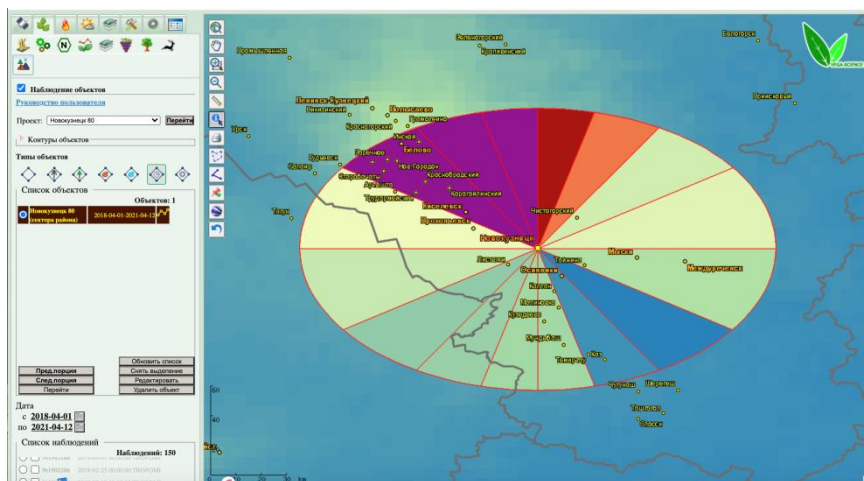
Пользователи ЦКП «ИКИ-Мониторинг» могут получить доступ к различным информационным продуктам с концентрацией МГС, накопленным в центре, работая с информационными системами (ИС), развиваемыми в ИКИ РАН, в веб-интерфейсах которых предоставляется доступ к спутниковым архивам ЦКП.

В ИС доступен набор инструментов для распределенного анализа этих продуктов, в том числе анализа их временных рядов.

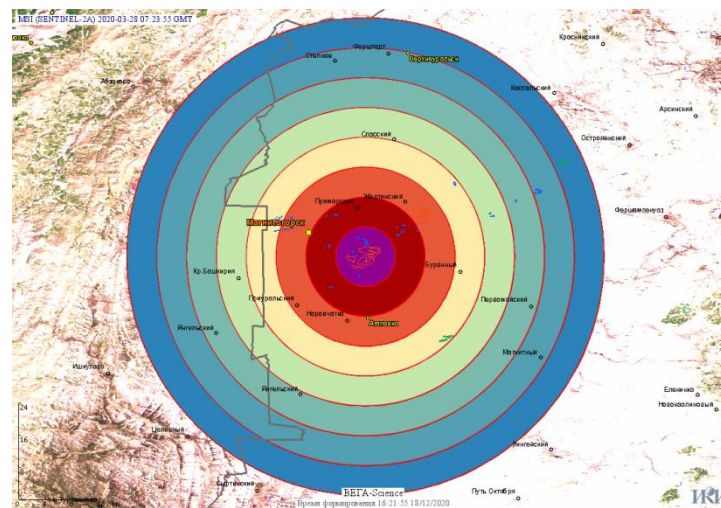
Например, с помощью данных инструментов пользователи могут:

Пример анализа

В ИКИ РАН был разработан автоматизированный инструмент мониторинга состояния объектов **ObjectsSurveysSMIS**, который позволяет рассчитывать статистику для различных показателей (продуктов, каналов) внутри произвольных полигонов исследуемых объектов по имеющимся в архивах ЦКП «ИКИ-Мониторинг» сценам спутниковых данных, в том числе оперативным. С помощью этого инструмента, интегрированного в информационную систему Vega-Science были посчитаны средние концентрации диоксида азота внутри крупных городов России и мира. Также были посчитаны концентрации для зон влияния этих городов, разбитых на сектора и концентрические окружности.



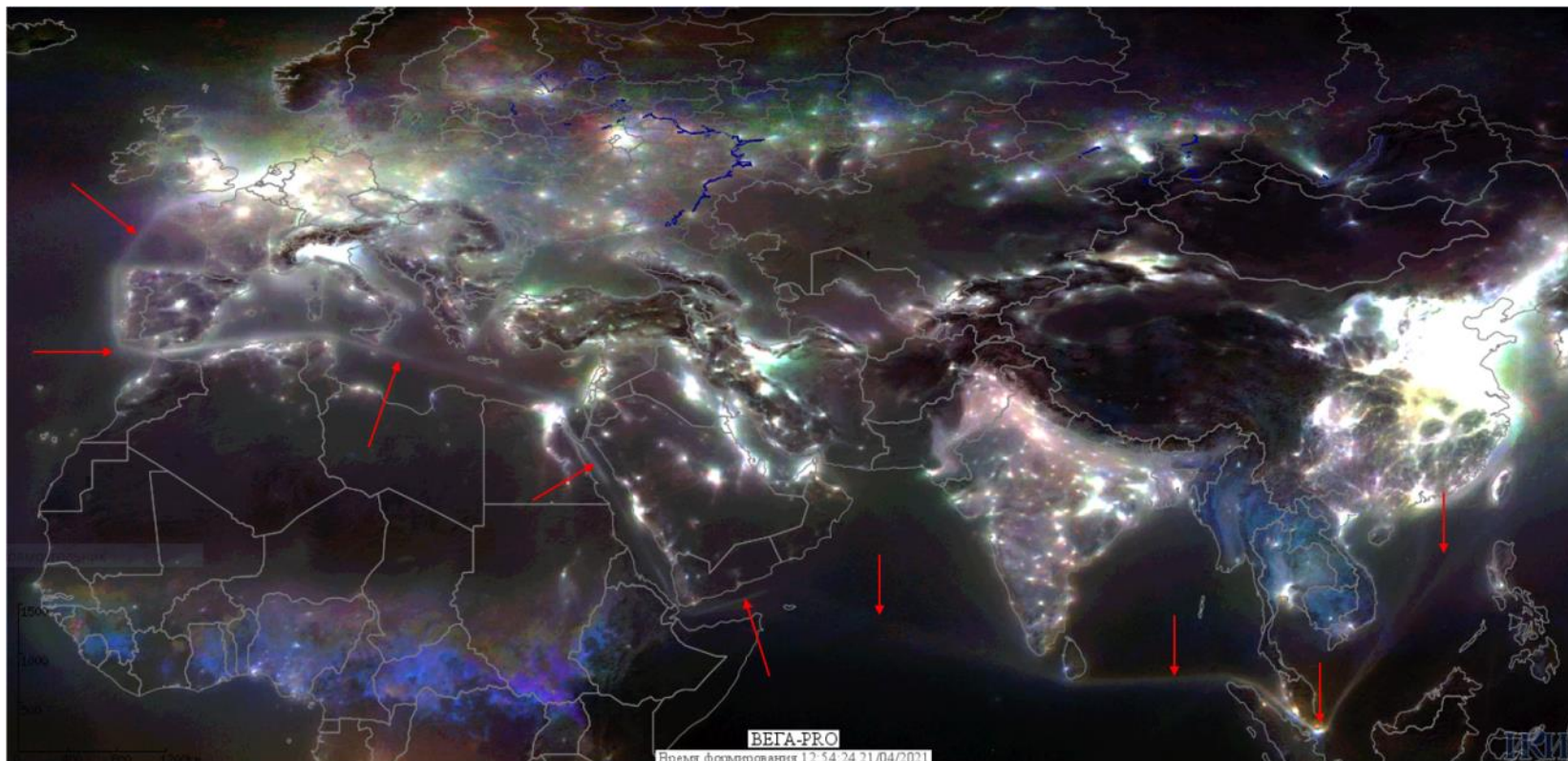
Распределение годовой концентрации диоксида азота внутри секторов (после «перенормировки»)



Распределение годовой концентрации диоксида азота внутри концентрических окружностей вокруг (после «перенормировки»)

- С помощью инструмента «Цветосинтез», доступного в ИС, создавать цветные продукты, для трех каналов (RGB) которых могут быть использованы разные композитные изображения с информацией о концентрации МГС. Например, в ИС [Veга-Science](#) был создан продукт (см. рис. 5), в трех каналах которого были задействованы годовые композитные изображения со средней концентрацией диоксида азота по прибору TROPOMI (спутник Sentinel-5P) за разные года: в красном канале (R) – 2018 год, в зеленом канале (G) – 2019 год, в голубом канале (B) – 2020 год, Созданный продукт позволил выявить интересные факты, которые не наблюдались на отдельных композитных изображения. В частности, на нем хорошо видно, что заметный вклад в загрязнение вносят суда, перемещающиеся по стандартному маршруту, связывающему Европу с Восточной Азией.

Примеры продуктов, созданных на основе композитных изображений

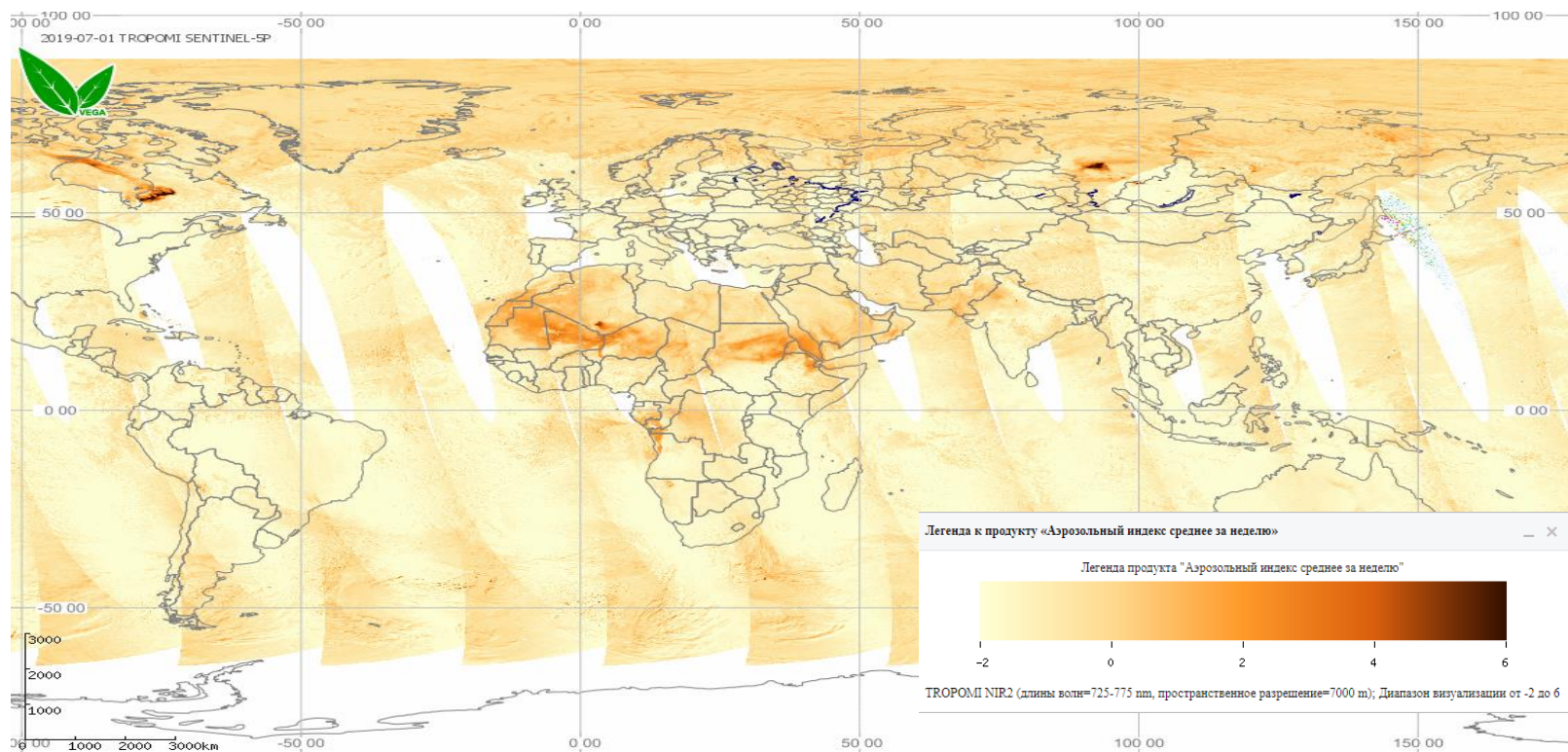


Распределение выбросов в атмосферу диоксида азота от крупных антропогенных объектов и природных пожаров

Цветосинтез средних концентраций диоксида азота за 2018(R), 2019(G), 2020(B) годы на основе данных прибора TROPOMI (спутник Sentinel-5P). В частности, хорошо видно, что заметный вклад в загрязнения вносят суда, перемещающиеся по стандартному маршруту, связывающему Европу с Восточной Азией (отмечен красными стрелками).

- С помощью инструмента создания анимации, доступного в ИС, строить анимации временных серий композитных изображений (ежедневных: еженедельных, ежемесячных и т.д.) за разные периоды. Анимация – удобное средство визуализации данных, которое позволяет отслеживать переносы различных МГС с разной частотой (день, неделя и т.д.). Например, в ИС [Vega-Science](#) была создана анимация на основе ежедневных композитных изображений (<http://sci-vega.ru/animation/1681817616.gif>), на которой хорошо видна циркуляция аэрозолей: вызванных мощными лесными пожарами в Сибири в июле-августе 2019 года.

Примеры продуктов, созданных на основе композитных изображений

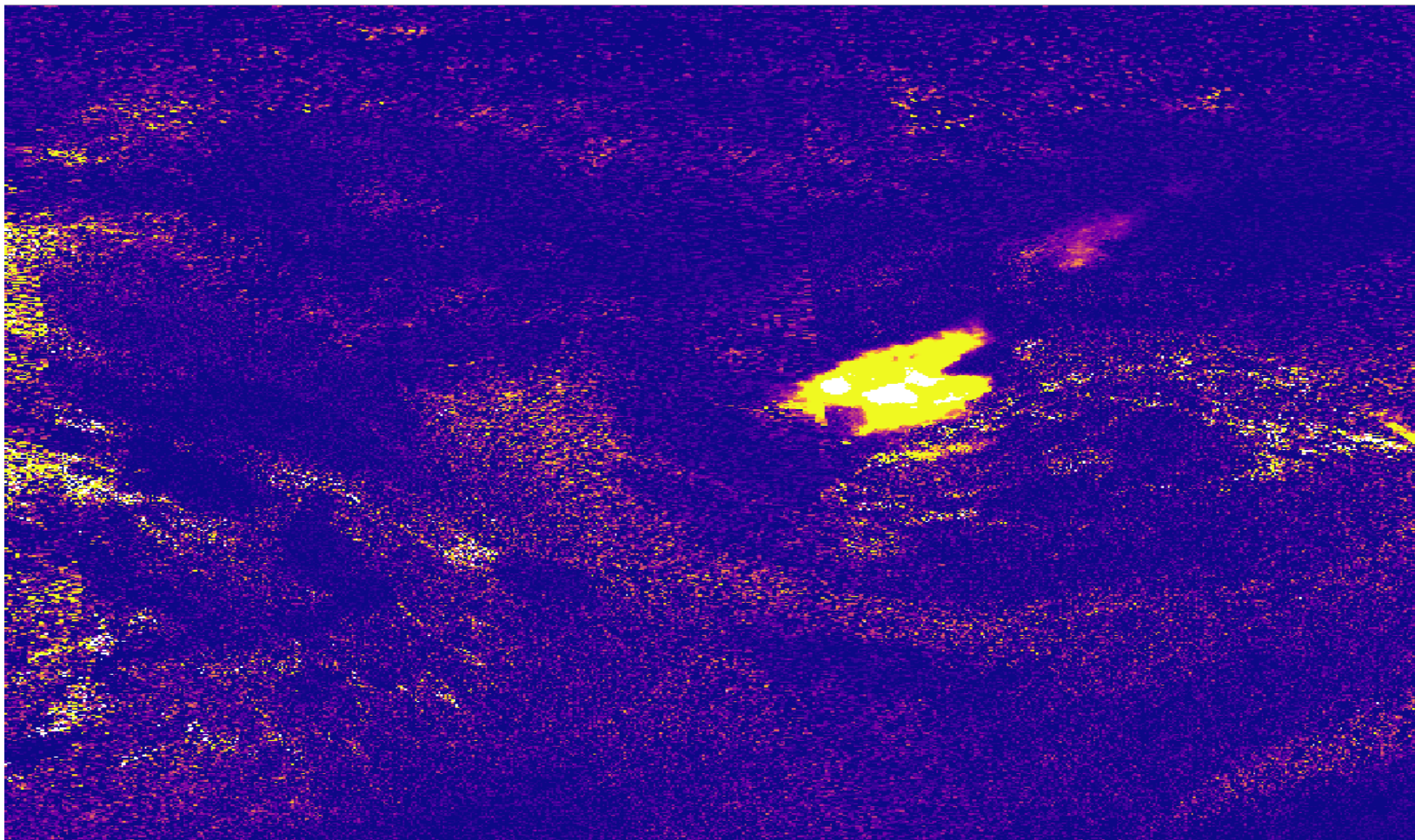


Анимация временного ряда изображений, созданных на основе максимальных ежедневных значений аэрозольного индекса по TROPOMI за июль-август 2019 года

На анимации хорошо видна циркуляция аэрозолей, вызванная мощными пожарами на территории Сибири. Результаты измерений аэрозольного индекса применяются и для отслеживания других аэрозольных выбросов, таких как песчаные бури и вулканический пепел.

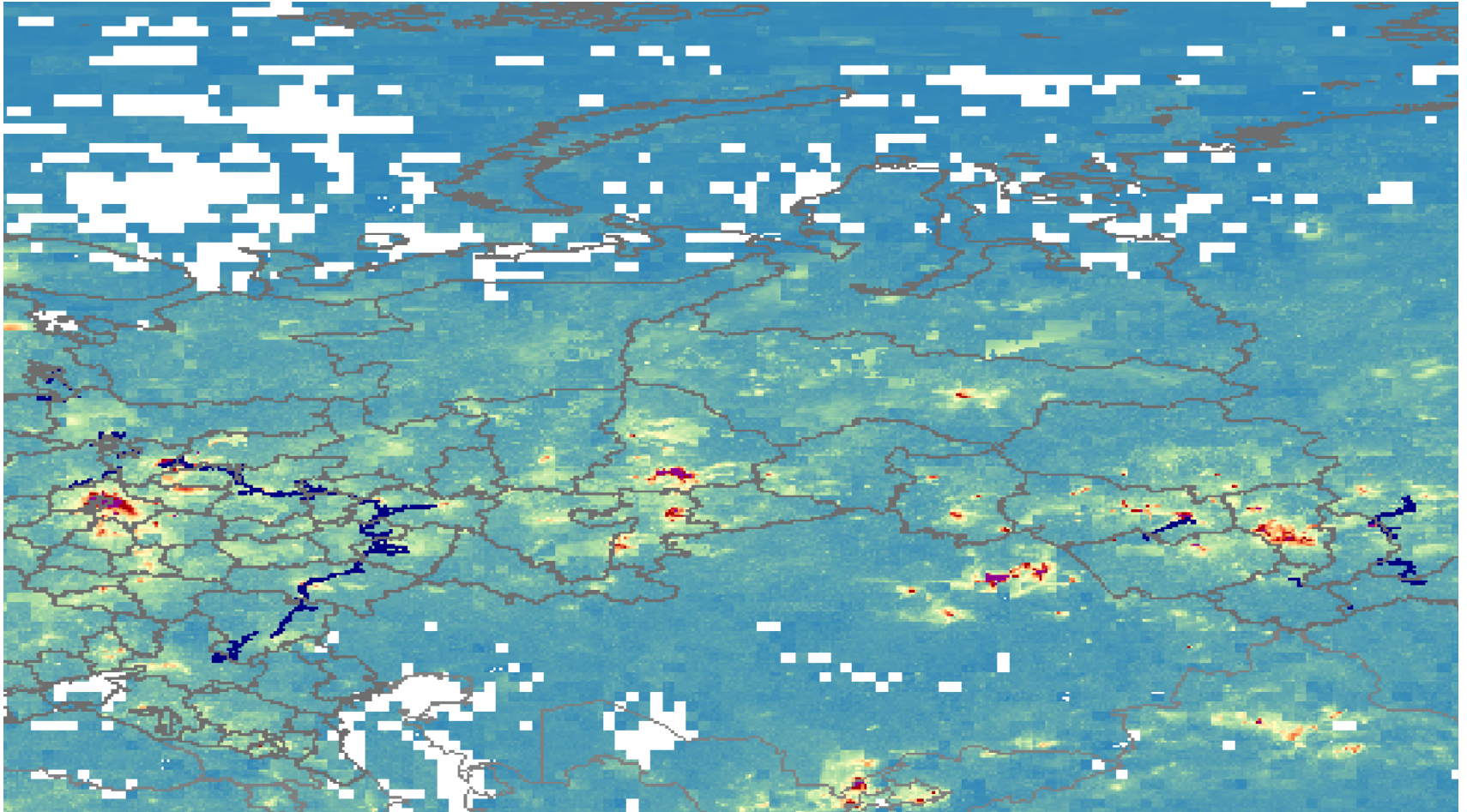
- Проводить интерактивный, визуальный и количественный анализ значений концентраций МГС в каждом пикселе на конкретных композитных изображениях. Например, в ИС дистанционного мониторинга активности вулканов Камчатки и Курил «VolSatView» (<http://volcanoes.smislab.ru/>) (Гирина и др, 2019) есть возможность детектировать повышение концентрации различных МГС, например, диоксида серы в момент извержений вулканов. На рисунке 6 приведено изображение с концентрацией диоксида серы во время крупных извержений вулкана Шивелуч, которые начались с 10 апреля 2023 года.

Примеры продуктов, созданных на основе композитных изображений



Композитное изображение по прибору TROPOMI диоксид серы в период извержения вулкана Шивелуч. 11 апреля 2023 года, примерное время 2 часа ночи UTC.

Построенные продукты на основе композитных изображений с информацией о концентрации МГС



Композитное изображение по прибору TROPOMI NO2 летний сезон 2022-го года, построенные в безветренные дни

Выводы

- С помощью описанной технологии был создан ряд информационных продуктов на территорию всего Земного шара.
- Уже сегодня в архивах ЦКП «ИКИ-Мониторинг» доступны данные о концентрации основных газов в различных слоях атмосферы по приборам TROPOMI (Sentinel-5P) и OMI(AURA), имеется возможность работы с временными композитами разной скважности по газовым составляющим. Планируется увеличение объемов спутниковых данных.
- Доступный набор инструментов для работы с данными позволяет анализировать их в картографических веб-интерфейсах, выявлять различные тренды, использовать их для мониторинга различных природных и антропогенных явлений.

Таким образом, реализованные на базе ЦКП «ИКИ-Мониторинг» схемы сбора и автоматизированной обработки данных могут быть использованы для формирования ряда продуктов для оценки концентрации малых газовых составляющих на основе данных различных спутниковых систем ДЗЗ

Спасибо за внимание!

