

## Возможности работы ЦКП «ИКИ-Мониторинг» с информацией о малых газовых составляющих, получаемой на основе данных спутникового мониторинга

А. А. Бриль, А. М. Константинова, Е. А. Лупян, М. А. Бурцев

*Институт космических исследований РАН, Москва, 117997, Россия  
E-mail: bril@d902.iki.rssi.ru*

Описывается подсистема работы с различной информацией о концентрации малых газовых составляющих, получаемой на основе спутниковых наблюдений. Данная подсистема была реализована на базе Центра коллективного пользования (ЦКП) «ИКИ-Мониторинг» (<http://ckp.geosmis.ru/>). Приводится описание спутников, информационных продуктов в различных вариантах построения, автоматически получаемых созданной подсистемой из центров распространения спутниковых данных, в том числе описывается доступность этой информации в архивах ЦКП «ИКИ-Мониторинг». В работе представлена схема построения мультитременных композитных изображений на основе приведённых информационных продуктов, включающая в себя подробное описание программных модулей в её составе. Представленная схема позволяет учитывать при построении композитных изображений различные дополнительные данные, например метеорологические условия, при которых проводились наблюдения. Описываются инструменты анализа таких композитных изображений, доступные в тематических информационных системах, развиваемых в Институте космических исследований РАН (ИКИ РАН), в том числе в системе «Vega-Science» (<http://sci-vega.ru/>). Созданная подсистема для работы с малыми газовыми составляющими уже сегодня активно применяется для решения ряда научных и прикладных задач.

**Ключевые слова:** дистанционный мониторинг, малые газовые составляющие, ЦКП «ИКИ-Мониторинг», TROPOMI, мониторинг качества воздуха, загрязнение атмосферы, технология построения композитных изображений

Одобрена к печати: 17.10.2023

DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-5-85-95

### Введение

Мониторинг состояния и динамики малых газовых составляющих (МГС) атмосферы необходим для решения широкого круга научных и прикладных задач. Многие из этих задач требуют получения информации о распределении и динамике МГС на большие территории. При этом в силу достаточно большой пространственной и временной изменчивости концентрации МГС необходимо регулярное и достаточно частое получение информации. Решение данных задач фактически невозможно без использования дистанционных, в первую очередь спутниковых, наблюдений. Поэтому в последние десятилетия было создано и запущено значительное число приборов, обеспечивающих восстановление различных характеристик МГС (см., например (Palmer, 2018)). Это привело к тому, что в настоящее время создан целый ряд технологий и систем, которые обеспечивают регулярное получение различных информационных продуктов о состоянии МГС в атмосфере. Были созданы долговременные, постоянно пополняющиеся архивы данных таких продуктов. Следует также отметить, что многие из этих архивов в настоящее время находятся в свободном доступе (как минимум для проведения научных исследований). Это позволяет использовать данную информацию для мониторинга МГС и реализации различных научных проектов. Во многих случаях возникает необходимость в комплексном анализе информации о МГС, получаемой на основе различных спутниковых систем, а также анализе этой информации совместно с другими спутниковыми, смоделированными и наземными данными. Для реализации таких возможностей на базе Центра коллективного пользования (ЦКП) «ИКИ-Мониторинг» (<http://ckp.geosmis.ru/>) (Лупян и др., 2019) создана подсистема (далее — Подсистема) работы с различной информацией о МГС,

получаемой на основе спутниковых наблюдений. Отметим, что Подсистема также обеспечивает возможность работы и с данными об аэрозольных загрязнениях атмосферы. Описанию основных возможностей данной Подсистемы и посвящена настоящая работа.

### **Информационные продукты о концентрации малых газовых составляющих, работа с которыми организована в ЦКП «ИКИ-Мониторинг»**

В настоящее время Подсистема обеспечивает возможность автоматического получения стандартных информационных продуктов о МГС, формируемых на основе данных приборов TROPOMI (*англ.* Tropospheric Ozone-Monitoring Instrument) (спутник Sentinel-5P) и OMI (*англ.* Ozone Monitoring Instrument) (<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-5p-tropomi>; [https://docserver.gesdisc.eosdis.nasa.gov/repository/Mission/OMI/3.3\\_ScienceDataProductDocumentation/3.3.2\\_ProductRequirements\\_Designs/README.OMI\\_DUG.pdf](https://docserver.gesdisc.eosdis.nasa.gov/repository/Mission/OMI/3.3_ScienceDataProductDocumentation/3.3.2_ProductRequirements_Designs/README.OMI_DUG.pdf)) (спутник Aura). В список стандартных информационных продуктов о МГС входит концентрация МГС в различных слоях атмосферы, в том числе общее содержание газовой компоненты в полном атмосферном столбе, а также продукт аэрозольного индекса, являющийся качественным показателем, указывающим на наличие приподнятых слоёв аэрозолей со значительным поглощением (пыль пустыни, продукты горения, вулканические пепловые облака). Эти продукты представлены в свободном доступе в следующих центрах распространения спутниковых данных и результатов их обработки: LAADS DAAC (NASA) (*англ.* The Level-1 and Atmosphere Archive and Distribution System Distributed Active Archive Center, NASA — National Aeronautics and Space Administration, Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства, <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov>) и Copernicus Open Access Hub (центры открытого доступа к данным Европейской программы дистанционного зондирования Земли Коперник, <https://scihub.copernicus.eu/>) (далее — Центры). Список продуктов, которые предоставляют эти центры, приведён в *табл. 1*.

Такие стандартные информационные продукты (далее — информационные продукты) формируются и распространяются Центрами в двух вариантах:

- NRTI (*англ.* Near Real Time Interval) — продукты, предоставляемые в режиме реального времени, как правило в течении 3 ч после измерения. Такие продукты строятся на основе данных уровня L1B.
- RPRO (*англ.* ReProcessing) — продукты более высокого уровня обработки. Алгоритмы расчёта таких продуктов включают в себя дополнительные параметры, например метеоданные.

Продукты высокого уровня обработки представляются Центрами в виде файла, содержащего информацию с одного витка в проекции пролёта, в то время как продукты, близкие к реальному времени, — в виде пятиминутных гранул в проекции пролёта. Продукты NRTI обычно используются только для получения оперативных сведений о текущем распределении МГС и аэрозоля. Для проведения анализа динамики МГС и аэрозоля в атмосфере используются обычно продукты более высокого уровня обработки, а также информация, полученная на их основе.

В ЦКП «ИКИ-Мониторинг» реализована процедура полностью автоматического получения информационных продуктов из различных предоставляющих Центров. Организовано получение данных всех видов: как NRTI, так и RPRO. Получаемые данные автоматически усваиваются в архивах ЦКП «ИКИ-Мониторинг», которые реализованы на основе технологии UNISAT (Прошин и др., 2016). Физическое хранение данных в архивах организовано в виде фрагментов, содержащих данные за пять минут наблюдения (пятиминутные гранулы). Данные записаны в формате GeoTiff. Состав архивов информационных продуктов, полученных из Центров, представлен в *табл. 2*. Оперативную информацию о составе данных архивов можно получить на сервере ЦКП «ИКИ-Мониторинг» по ссылке [http://d902.iki.rssi.ru/arch-stat-cgi/unisat\\_products\\_stat.pl?true\\_stat=1](http://d902.iki.rssi.ru/arch-stat-cgi/unisat_products_stat.pl?true_stat=1).

Таблица 1. Стандартные информационные продукты о концентрации МГС, доступные в открытом доступе в системах LAADS DAAC и Copernicus Open Access Hub

Прибор	Продукт	Характеристика	Ссылка на описание продукта
TROPOMI	UV Aerosol Index	Индекс аэрозоля	<a href="http://www.tropomi.eu/data-products/uv-aerosol-index">http://www.tropomi.eu/data-products/uv-aerosol-index</a>
TROPOMI	Aerosol Layer Height	Высота аэрозольного слоя	<a href="http://www.tropomi.eu/data-products/aerosol-layer-height">http://www.tropomi.eu/data-products/aerosol-layer-height</a>
TROPOMI	Carbon monoxide (CO)	Общее содержание CO (монооксид углерода) в атмосферном столбе	<a href="http://www.tropomi.eu/data-products/carbon-monoxide">http://www.tropomi.eu/data-products/carbon-monoxide</a>
TROPOMI	Cloud	Альбедо, давление на верхней границе облачного слоя	<a href="http://www.tropomi.eu/data-products/cloud">http://www.tropomi.eu/data-products/cloud</a>
TROPOMI	Formaldehyde (HCHO)	Общее содержание HCHO (формальдегид) в атмосферном столбе	<a href="http://www.tropomi.eu/data-products/formaldehyde">http://www.tropomi.eu/data-products/formaldehyde</a>
TROPOMI	Methane (CH <sub>4</sub> )	Общее содержание CH <sub>4</sub> (метан) в атмосферном столбе	<a href="http://www.tropomi.eu/data-products/methane">http://www.tropomi.eu/data-products/methane</a>
TROPOMI	Nitrogen dioxide (NO <sub>2</sub> )	Общее содержание NO <sub>2</sub> (оксид азота) в атмосферном столбе	<a href="http://www.tropomi.eu/data-products/nitrogen-dioxide">http://www.tropomi.eu/data-products/nitrogen-dioxide</a>
TROPOMI	Ozone profiles	Профили концентрации O <sub>3</sub> (озон)	<a href="http://www.tropomi.eu/data-products/ozone-profiles">http://www.tropomi.eu/data-products/ozone-profiles</a>
TROPOMI	Sulphur dioxide (SO <sub>2</sub> )	Общее содержание SO <sub>2</sub> (оксид серы) в атмосферном столбе	<a href="http://www.tropomi.eu/data-products/sulphur-dioxide">http://www.tropomi.eu/data-products/sulphur-dioxide</a>
TROPOMI	Ozone (O <sub>3</sub> )	Общее содержание O <sub>3</sub> в атмосферном столбе	<a href="http://www.tropomi.eu/data-products/total-ozone-column">http://www.tropomi.eu/data-products/total-ozone-column</a>
TROPOMI	Tropospheric Ozone (O <sub>3</sub> )	Концентрация O <sub>3</sub> в столбе тропосферы	<a href="http://www.tropomi.eu/data-products/tropospheric-ozone-column">http://www.tropomi.eu/data-products/tropospheric-ozone-column</a>
OMI	Nitrogen dioxide (NO <sub>2</sub> )	Общее содержание NO <sub>2</sub> в полном, тропосферном, стратосферном столбе	<a href="https://aura.gsfc.nasa.gov/omi.html">https://aura.gsfc.nasa.gov/omi.html</a>
OMI	Ozone (O <sub>3</sub> )	Общее содержание O <sub>3</sub> в атмосферном столбе	<a href="https://aura.gsfc.nasa.gov/omi.html">https://aura.gsfc.nasa.gov/omi.html</a>
OMI	Sulphur dioxide (SO <sub>2</sub> )	Общее содержание SO <sub>2</sub> в столбе	<a href="https://aura.gsfc.nasa.gov/omi.html">https://aura.gsfc.nasa.gov/omi.html</a>
OMI	UV Aerosol Index	Индекс аэрозоля	<a href="https://aura.gsfc.nasa.gov/omi.html">https://aura.gsfc.nasa.gov/omi.html</a>

Таблица 2. Состав информационных продуктов о концентрациях МГС, доступных в архивах ЦКП «ИКИ-Мониторинг»

Спутник	Прибор	Компонент	Доступность данных в архивах ЦКП
Sentinel-5P	TROPOMI	NO <sub>2</sub>	С 2018 г. по настоящее время
		SO <sub>2</sub>	
		O <sub>3</sub>	
		CO	
		Aerosol	
		CH <sub>4</sub>	
Aura	OMI	SO <sub>2</sub>	С 2006 г. по настоящее время
		NO <sub>2</sub>	
		Aerosol	

После усвоения данных в архивах они автоматически становятся доступны в программных и веб-интерфейсах различных информационных систем, реализованных ИКИ РАН с использованием возможностей ЦКП «ИКИ-Мониторинг», в том числе в системе «Вега-Science» (<http://sci-vega.ru>) (Лупян и др., 2019, 2021). Всё это, в частности, позволяет пользователям ЦКП «ИКИ-Мониторинг» оперативно работать с данными NRTI.

### Построение временных композитов на основе накопленных в ЦКП «ИКИ-Мониторинг» информационных продуктов о концентрации МГС

Для изучения динамики концентрации МГС, в том числе долговременной, во многих случаях удобно использовать не отдельные («мгновенные») измерения, а данные, интегрированные за различные периоды времени. Такие информационные продукты (временные композиты) обычно представляют собой изображения, покрывающие какую-то территорию, в каждой точке которых содержится информация о какой-либо характеристике, полученной на основе всех имеющихся в данной точке наблюдений за заданный период времени. Например, среднее, максимальное или минимальное значение концентрации МГС за заданный период времени. Также следует отметить, что в некоторых случаях при построении временных композитов следует учитывать только те данные, которые удовлетворяют определённым условиям наблюдений. Например, при использовании только данных, полученных в условиях, когда ветер не превышал определённого порога скорости, можно построить временные композиты, которые могут быть эффективны при выявлении источников загрязнений.

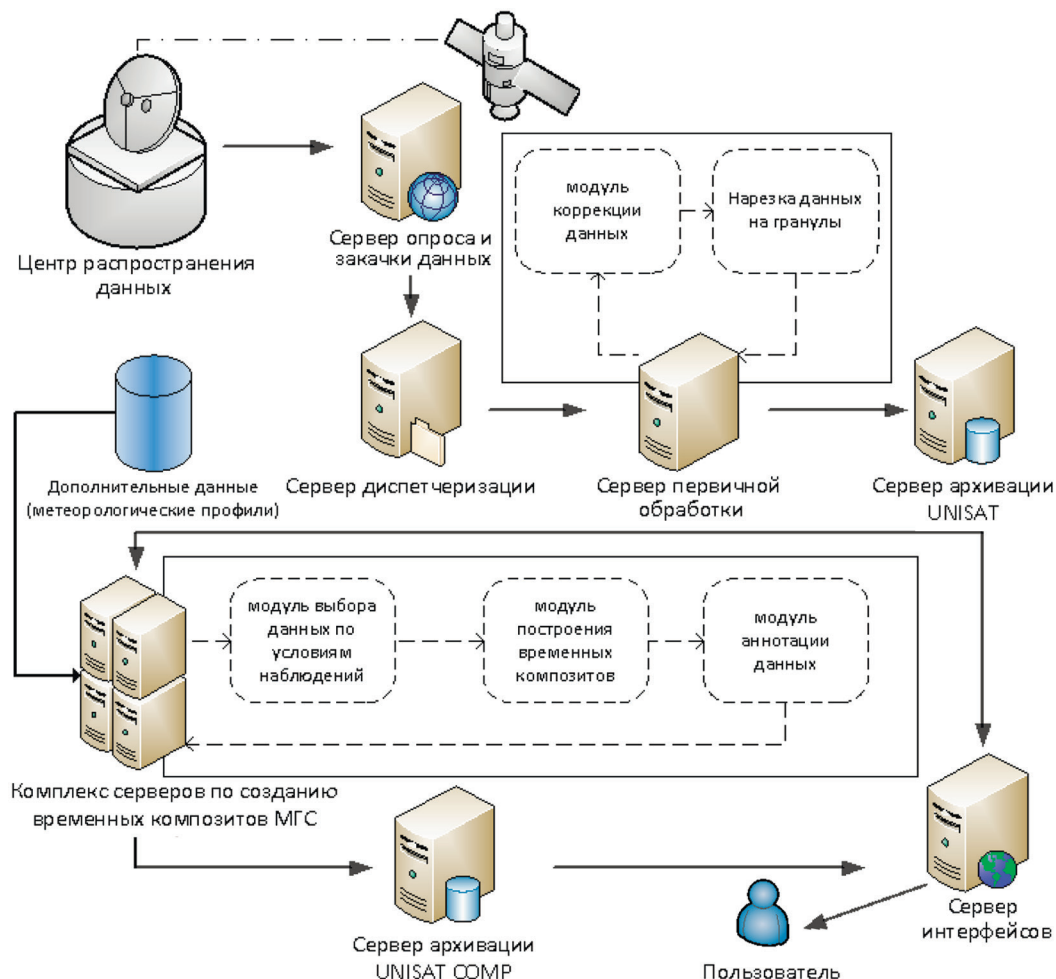


Рис. 1. Блок-схема организации обработки, архивации и представления различных продуктов по МГС в ЦКП «ИКИ-Мониторинг»

На основе получаемых данных, описанных в предыдущем разделе настоящей статьи, в ЦКП «ИКИ-Мониторинг» реализована полностью автоматическая процедура, позволяющая формировать временные композиты для различных характеристик МГС и аэрозольного индекса за произвольные периоды времени. В настоящий момент реализовано построение временных композитов за день, неделю, месяц и год. Полная схема организации потоковой обработки по усвоению данных о концентрации МГС, а также формируемых на основе этих продуктов временных композитов различных характеристик в ЦКП «ИКИ-Мониторинг» представлена на *рис. 1* (см. с. 88).

*Модуль предварительной обработки* обеспечивает дополнительную очистку и коррекцию стандартных продуктов, поступающих из Центров. Такая обработка может требоваться для некоторого типа продуктов. Так, например, в Центре коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» данная обработка проводится для стандартных продуктов по концентрации  $\text{SO}_2$  и обеспечивает более корректный учёт условий наблюдений. Для этого разработан алгоритм, основанный на методе анализа гистограмм. Суть метода заключается в анализе распределения значений концентрации  $\text{SO}_2$  при разных углах наблюдения. Данный алгоритм позволяет существенно сократить шумовые эффекты, наблюдаемые при использовании стандартного продукта по  $\text{SO}_2$ .

*Модуль построения временных композитов (МПКВ)* осуществляет выбор из архивов ЦКП «ИКИ-Мониторинг» данных, необходимых для построения конкретного композита. Все полученные за заданный промежуток времени данные переводятся в одну проекцию и для всего набора данных формируются одинаковые (имеющие одинаковые размер, пространственное разрешение и географическую привязку) растровые карты. Если при расчёте композита необходим учёт условий наблюдения (например, метеоусловий), то к каждой растровой карте, описанной выше, также формируется бинарная растровая карта-маска в той же проекции. После того как сформирован необходимый набор карт для обработки, на его основе производится расчёт статистических характеристик (например, средних, минимальных и максимальных значений), требуемых для построения временных композитов. На основе результатов расчёта формируется соответствующая растровая карта, которая сохраняется в формате GeoTiff. Основой МПКВ выступает программный модуль, реализованный на базе языка программирования Python3 с использованием стандартных библиотек работы с растровыми и векторными данными. Этот модуль позволяет формировать композитное изображение за любой промежуток времени по заданным правилам построения конкретного временного композита.

*Модуль усвоения временных композитов в архивы ЦКП «ИКИ-Мониторинг».* Модуль обеспечивает аннотацию данных, т. е. формирование метаинформации к ним, включающей название спутника, название прибора, время начала или конца съёмки и хэш-сумму для проверки целостности данных, а также автоматическое помещение созданных продуктов в архивы ЦКП «ИКИ-Мониторинг». При этом модуль выполняет процедуры контроля состояния архивов на предмет наличия одинаковых продуктов, осуществляет контроль актуальности вводимых и уже существующих в архивах продуктов, тем самым обеспечивая погружение и хранение в архивах ЦКП наиболее актуальных данных.

После того как сформированные временные композиты помещены в архивы ЦКП «ИКИ-Мониторинг», доступ к ним может быть обеспечен стандартными схемами, которые используются в ЦКП (Лупян и др., 2019, 2021), в том числе они становятся доступны в веб-интерфейсах информационной системы (ИС) «Vega-Science» (<http://sci-vega.ru/>). Возможности работы с ними также могут быть интегрированы в различные специализированные информационные системы, созданные, работающие и развивающиеся на базе ЦКП «ИКИ-Мониторинг».

В настоящее время в ЦКП «ИКИ-Мониторинг» осуществляется автоматическое построение достаточно широкого набора временных композитов различных характеристик МГС, получаемых на основе данных приборов ОМІ и ТРОПОМІ. В большинстве случаев такие композиты строятся на территорию всего земного шара. Состав архивов временных композитов характеристик МГС на момент публикации данной статьи приведён в *табл. 3*.

Таблица 3. Состав архивов временных композитов в архивах ЦКП «ИКИ-Мониторинг»

Временной композит	Характеристика	Прибор	МГС
Ежедневный	Минимум, максимум, среднее	TROPOMI	NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , Aerosol Index, CO, CH <sub>4</sub> , O <sub>3</sub>
		OMI	Aerosol Index, NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub>
Еженедельный		TROPOMI	NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , Aerosol Index, CO, CH <sub>4</sub> , O <sub>3</sub>
		OMI	NO <sub>2</sub>
Ежемесячный		TROPOMI	NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , Aerosol Index, CO, CH <sub>4</sub> , O <sub>3</sub>
Годовой		TROPOMI	NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , Aerosol Index, CO, CH <sub>4</sub> , O <sub>3</sub>
Многолетний		TROPOMI	NO <sub>2</sub>
		OMI	NO <sub>2</sub>
Сезонный	Максимум, среднее	TROPOMI	NO <sub>2</sub>

Некоторые примеры формируемых временных композитов приведены на рис. 2.

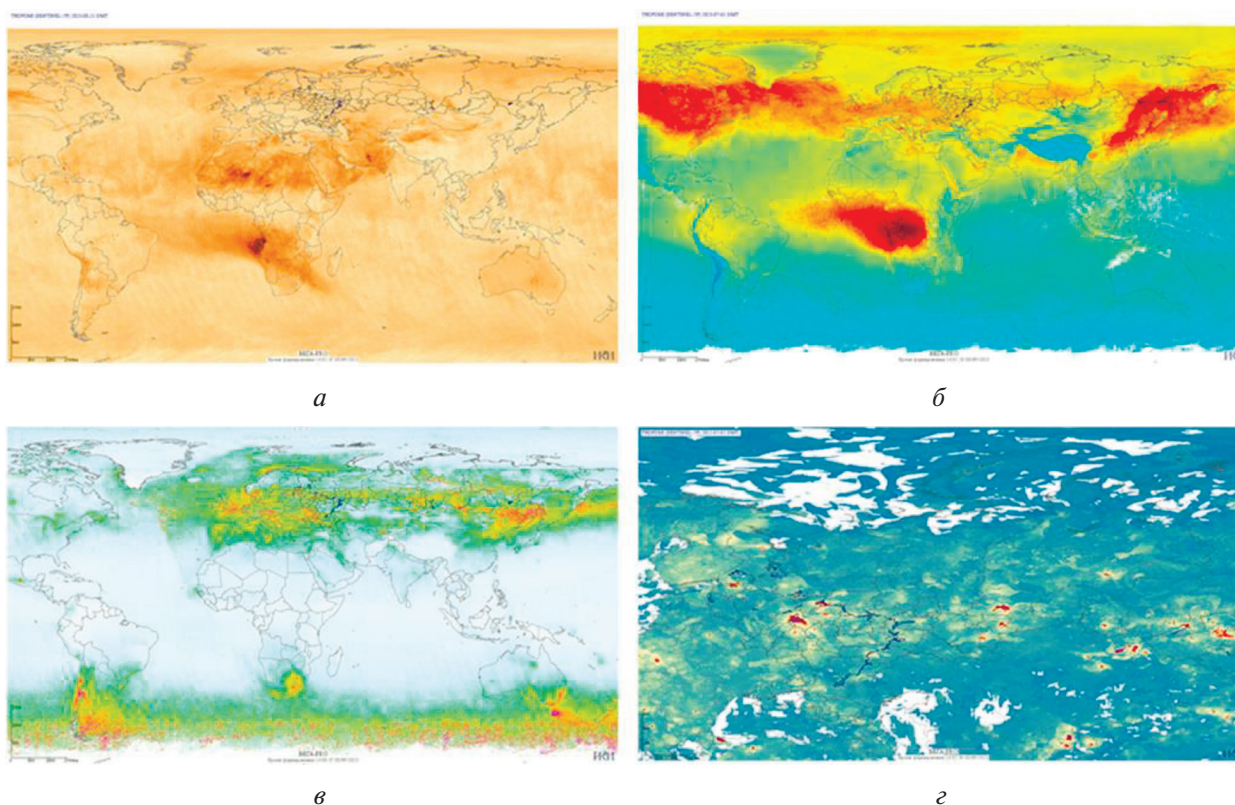
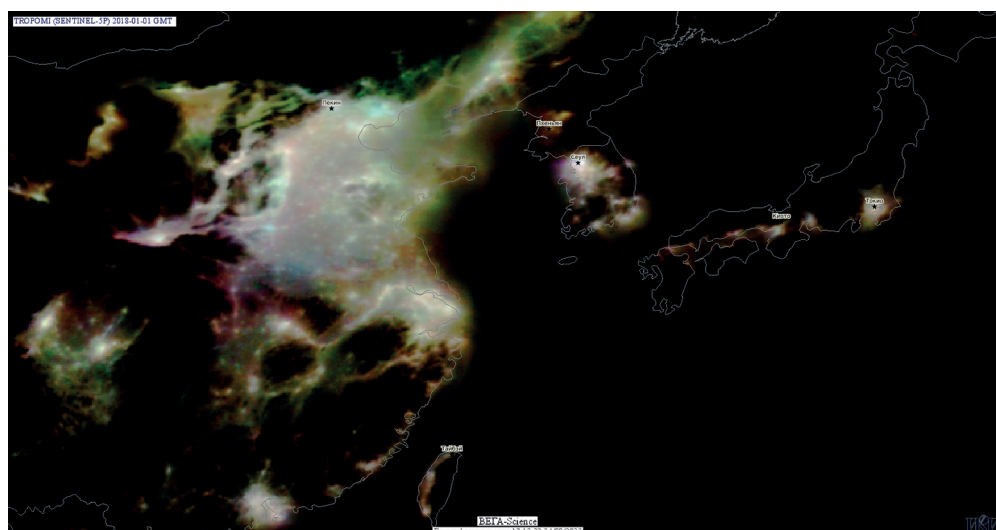


Рис. 2. Примеры временных композитных изображений по данным прибора TROPOMI: а — среднее значение аэрозольного индекса на территорию всего земного шара за неделю с 21.08.2023 по 28.08.2023; б — среднее значение CO за месяц с 01.07.2023 по 31.07.2023 на территорию всего земного шара; в — среднее значение SO<sub>2</sub> за неполный 2023 г. с января по август на территорию всего земного шара; г — максимальное значение NO<sub>2</sub> за летний сезон 2022 г. с 1 мая по 1 октября на территорию России с условием выбора измерений концентраций только в безветренные дни

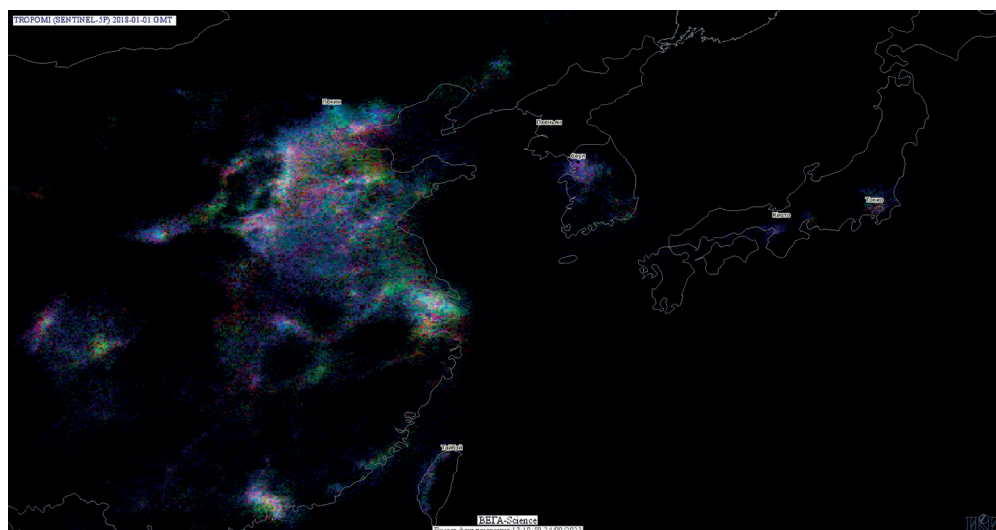
Отметим, что созданная система формирования временных композитов характеристик МГС достаточно универсальна и может быть легко применена для работы с различными данными о концентрациях МГС, в том числе для формирования на их основе различных разновременных композитов.

## Основные возможности работы с временными композитами характеристик МГС, реализованные в системе «Vega-Science»

Одной из возможностей работы с данными МГС и сформированными на их основе информационными продуктами, накопленными в архивах ЦКП «ИКИ-Мониторинг», является использование ИС «Vega-Science» (<http://sci-vega.ru/>) (Loupian et al., 2022), которая предоставляет достаточно широкий набор инструментов для получения и анализа таких данных.



а



б

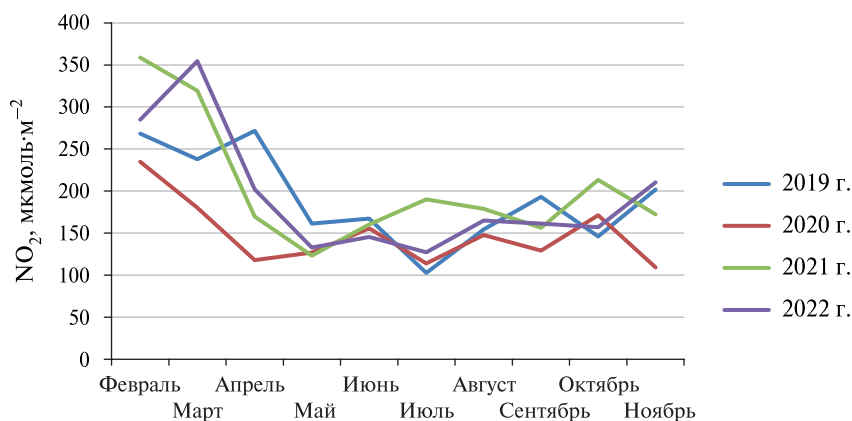
Рис. 3. Примеры разновременных цветосинтезированных изображений, построенных на основе годовых композитов концентраций  $\text{NO}_2$ , восстановленных по данным прибора TROPOMI за 2022 г. (красный), 2020 г. (зелёный) и 2018 г. (синий) на основе композитов средней (а) и минимальной (б) концентрации за соответствующий год

Система в том числе позволяет:

- обеспечивать возможность проведения выбора, визуализации и анализа как стандартных продуктов, так и временных композитов, в частности совместно анализировать данные, полученные в различные временные сроки. Инструмент позволяет синтезировать (формировать) RGB-изображения (R — *англ.* red, красный; G — *англ.* green, зелёный; B — *англ.* blue, синий), в том числе на основе временных композитов за различные моменты времени. На рис. 3 приведены примеры синтеза данных о концентрации

NO<sub>2</sub> по территории центрального и восточного Китая, Корейского п-ова и южных островов Японии. Цветовая изменчивость представленных изображений отражает изменчивость наблюдаемых концентраций NO<sub>2</sub> в различные годы. Так, например, можно обратить внимание, что минимальный уровень концентрации наблюдаемых минимальных за год значений NO<sub>2</sub> (см. *рис. 3б*) на значительных территориях имеет ярко выраженный синий оттенок. Это в том числе может быть объяснено тем, что на данных территориях в период до распространения COVID-19 уровень загрязнения был ощутимо выше, чем в периоды пандемии и после неё;

- проводить анализ численных значений концентрации МГС в различных точках, в том числе и изменения этой концентрации по времени. Пример приведён на *рис. 4*;



*Рис. 4.* Временные профили концентрации NO<sub>2</sub> по прибору TROPOMI за различные годы на территории Москвы. В частности, видно значительное снижение концентраций в 2020 г. во время распространения COVID-19

- создавать анимации, которые позволяют анализировать распространение МГС и аэрозолей от различных источников. Например, в ИС «Вега-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 г. Пример такой анимации можно посмотреть по ссылке <http://sci-vega.ru/animation/1694095228.gif>;
- рассчитывать различные статистические характеристики (среднее, минимальное, максимальное значения, площади пикселей с определёнными значениями и т. п.) внутри границ произвольных полигонов на основе создаваемых композитных изображений с концентрацией МГС. Строить временные ряды этих характеристик в модуле анализа временных рядов (Балашов и др., 2023) и, таким образом, выполнять мониторинг и анализ состояния некоторых объектов, например локализованных источников выбросов различных газов. Возможности и примеры использования таких инструментов достаточно подробно описаны в работах (Константинова и др., 2021; Лупян и др., 2022).

## Заключение

Таким образом, реализованная на базе ЦКП «ИКИ-Мониторинг» подсистема сбора, автоматизированной обработки и анализа данных о концентрации МГС в атмосфере может быть использована для решения различных научных и прикладных задач. В настоящее время основной задачей системы выступает обеспечение информацией проекта «Дистанционный мониторинг распределения концентраций и потоков малых газовых составляющих в атмосфере Земли», выполняющегося в ИКИ РАН в рамках темы «Эмиссия» (госрегистрация



№ 122101700045-7). Основная цель данного проекта заключается в разработке новых методов, подходов и информационной системы дистанционного мониторинга концентрации и распределения потоков малых газовых составляющих в атмосфере Земли. В то же время следует отметить, что формируемые подсистемой архивы спутниковых данных и результатов их обработки, а также инструменты, обеспечивающие возможности их распределённого анализа, уже сегодня интегрированы и используются в информационных системах различных научных и прикладных проектов, например в информационной системе дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства Российской Федерации (ИСДМ-Рослесхоз, <https://pushkino.aviales.ru/>) (Балашов и др., 2023; Ковалев и др., 2020; Лупян и др., 2019), информационной системе мониторинга вулканической активности Камчатки и Курил (VolSatView, <http://volcanoes.smislab.ru/>) (Гирина и др., 2019), информационно-аналитической системе мониторинга углерода наземных экосистем (ИАС «Углерод-Э», <http://carbon.geosmis.ru/>).

Работа выполнена с использованием возможностей ЦКП «ИКИ-Мониторинг» (Лупян и др., 2019), развиваемого и поддерживаемого в рамках темы «Мониторинг» Министерства науки и высшего образования РФ (госрегистрация № 122042500031-8) и при поддержке темы «Эмиссия» (госрегистрация № 122101700045-7).

## Литература

1. Балашов И. В., Марченков В. В., Прошин А. А. и др. Разработка сервисов для эффективного предоставления доступа к временным сериям данных сверхбольших распределённых архивов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. № 2. С. 113–122. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-2-113-122.
2. Гирина О. А., Лупян Е. А., Мельников Д. В. и др. Создание и развитие информационной системы «Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил» // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 249–265. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-249-265.
3. Ковалев Н. А., Лупян Е. А., Балашов И. В. и др. ИСДМ-Рослесхоз: 15 лет эксплуатации и развития // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 7. С. 283–291. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-7-283-291.
4. Константинова А. М., Балашов И. В., Кашицкий А. В., Лупян Е. А. Унифицированная технология дистанционного мониторинга природных и антропогенных объектов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 4. С. 41–52. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-41-52.
5. Лупян Е. А., Прошин А. А., Бурцев М. А. и др. Опыт эксплуатации и развития центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных (ЦКП «ИКИ-Мониторинг») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 151–170. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170.
6. Лупян Е. А., Прошин А. А., Бурцев М. А. и др. Система «Vega-Science»: особенности построения, основные возможности и опыт использования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 6. С. 9–31. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-6-9-31.
7. Лупян Е. А., Константинова А. М., Кашицкий А. В. и др. Возможности организации долговременного дистанционного мониторинга крупных источников антропогенных загрязнений для оценки их влияния на окружающую среду // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 1. С. 193–213. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-1-193-213.
8. Прошин А. А., Лупян Е. А., Балашов И. В. и др. Создание унифицированной системы ведения архивов спутниковых данных, предназначенной для построения современных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 3. С. 9–27. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-3-9-27.
9. Loupian E. A., Bourtsev M. A., Proshin A. A. et al. Usage Experience and Capabilities of the VEGA-Science System // Remote Sensing. 2022. V. 14. No. 1. Article 77. DOI: 10.3390/rs14010077.
10. Palmer P. I. The role of satellite observations in understanding the impact of El Niño on the carbon cycle: current capabilities and future opportunities // Philosophical Trans. Royal Society. 2018. V. 373(1760). Article 20170407. <http://doi.org/10.1098/rstb.2017.0407>.

## Capabilities of IKI-Monitoring Shared Use Center operation with satellite monitoring-based trace gas component data

A. A. Bril, A. M. Konstantinova, E. A. Loupian, M. A. Burtsev

Space Research Institute RAS, Moscow 117997, Russia

E-mail: bril@d902.iki.rssi.ru

The article describes a subsystem for operating with various information on concentration of trace gas components obtained from satellite observations. This subsystem was implemented on the basis of the IKI-Monitoring Shared Use Center (IKI-Monitoring SUC) (<http://ckp.geosmis.ru/>). A description of satellites, information products and options for their construction, automatically received by the created subsystem from satellite data distribution centers is provided along with information on availability of this information in the archives of the IKI-Monitoring SUC. The paper presents a scheme for constructing multitemporal composite images from information products, including a detailed description of software modules used. The presented scheme allows, among other things, to take into account various additional data when constructing composite images, e.g., the meteorological conditions under which the observations were conducted. The tools for these products analysis, available in thematic information systems developed at the Space Research Institute RAS (IKI RAS), including the Vega-Science system (<http://sci-vega.ru/>), are described. The implemented subsystem working with trace gas components data is already actively used today in solving various scientific and applied problems.

**Keywords:** remote sensing, IKI-Monitoring Shared Use Center, trace gas components, TROPOMI, air quality monitoring, air pollution, composite imaging technology

Accepted: 17.10.2023

DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-5-85-95

### References

1. Balashov I. V., Marchenkov V. V., Proshin A. A. et al., Development of services for effective time series data analysis for ultra-large distributed archives, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2023, Vol. 20, No. 2, pp. 113–122 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-2-113-122.
2. Girina O. A., Loupian E. A., Melnikov D. V. et al., Creation and development of the information system “Remote Monitoring of Kamchatka and Kuril Islands Volcanic Activity”, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 3, pp. 249–265 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-249-265.
3. Kovalev N. A., Ershov D. V., Loupian E. A. et al., ISDM-Rosleskhaz: 15 years of operation and evolution, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2020, Vol. 17, No. 7, pp. 283–291 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-7-283–291.
4. Konstantinova A. M., Balashov I. V., Kashnitskii A. V., Loupian E. A., Unified technology for remote monitoring of natural and anthropogenic objects, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2021, Vol. 18, No. 4, pp. 41–52 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-41-52.
5. Loupian E. A., Proshin A. A., Burtsev M. A. et al., Experience of development and operation of the “IKI-Monitoring” center for collective use of systems for archiving, processing and analyzing satellite data, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 3, pp. 151–170 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170.
6. Loupian E. A., Proshin A. A., Burtsev M. A. et al., Vega-Science system: design features, main capabilities and usage experience, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2021, Vol. 18, No. 6, pp. 9–31 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-6-9-31.
7. Loupian E. A., Konstantinova A. M., Kashnitskii A. V. et al., The possibilities of organizing long-term remote monitoring of large sources of anthropogenic pollution to assess their impact on the environment, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2022, Vol. 19, No. 1, pp. 193–213 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-1-193-213.
8. Proshin A. A., Loupian E. A., Balashov I. V. et al., Unified satellite data archive management platform for remote monitoring systems development, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2016, Vol. 13, No. 3, pp. 9–27 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-3-9-27.

9. Loupian E. A., Burtsev M. A., Proshin A. A. et al., Usage Experience and Capabilities of the VEGA-Science System, *Remote Sensing*, 2022, Vol. 14, No. 1, Article 77, DOI: 10.3390/rs14010077.
10. Palmer P. I., The role of satellite observations in understanding the impact of El Niño on the carbon cycle: current capabilities and future opportunities, *Philosophical Trans. Royal Society*, 2018, Vol. 373(1760), Article 20170407, <http://doi.org/10.1098/rstb.2017.0407>.