



Возможности оценки высот методом стереопары по данным КА «Арктика-М» и Himawari

Двадцать вторая международная конференция "СОВРЕМЕННЫЕ
ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ
КОСМОСА"

Бриль А.А.¹, Волкова Е.Е.¹, Бурцев М.А.¹, Лупян Е.А.¹
Филей А.А.², Кучма М.О.²

1. Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

2. Дальневосточный центр ФГБУ «НИЦ «Планета», Хабаровск, Россия

Оценка высоты облачности по данным спутников

Получение информации о полях высот облачности на протяженных территориях является важной задачей для исследования и прогноза динамики атмосферы. Спутниковые методы дистанционного зондирования являются наиболее эффективными для решения этой задачи, поскольку позволяют получать данные по обширным районам одновременно.

Один из таких методов основан на одновременных наблюдениях облачности с различных космических аппаратов. Этот подход не требует привлечения дополнительной информации, такой как вертикальные профили температуры или влажности, и позволяет напрямую оценивать высоту верхней границы облачности.

Однако реализация данного метода ограничена необходимостью наличия одномоментной съемки, так как облачность изменчива во времени. Преодоление этого ограничения является важной задачей для дальнейшего развития и совершенствования спутниковых методов оценки высоты облаков.



Метод стереопары

1

Данные

Получение данных с разных углов.

2

Геометрия сканирования

Определение координат точек и спутника

3

Расчет высоты

Оценка верхней границы облаков.

Варианты прямой оценки высот ВГО

Для реализации прямых методов восстановления высот облачности обычно используются следующие виды информации:

Данные приборов на низкоорбитальных КА

Данные приборов, установленных на низкоорбитальных КА и ведущих одномоментную съемку одних и тех же территорий под разными углами (например данные приборов SLSTR, установленных на КА серии Sentinel-3), позволяют применить принцип стереоскопического зрения для расчета высоты облачных образований.

Данные с разных КА

Данные, полученные при одномоментных наблюдениях территории различными низкоорбитальными КА или низкоорбитальным и геостационарным КА.

Данные с геостационарных КА

Данные, полученные при одномоментных наблюдениях территории геостационарными КА находящимися в разных точках стояния.

Проблемы существующих методов восстановления высоты облачности

Все перечисленные данные обладают существенными недостатками:

Недостаточная частота наблюдений

В первых двух случаях информация получается достаточно редко (не более нескольких раз в сутки) и по достаточно ограниченным, постоянно изменяющимся территориям.

Ограниченность зоны наблюдения

В третьем случае информация хотя и может получаться достаточно часто (в современных условиях - раз в 10-15 минут), но только в зонах перекрытия полей наблюдений геостационарных спутников, находящихся в различных точках стояния. На сегодня такие зоны достаточно невелики.

Низкое пространственное разрешение

Пространственное разрешение данных в зонах перекрытия полей наблюдений геостационарных спутников достаточно низкое, что также ограничивает возможности восстановления высот облачности.

В целом, существующие методы не позволяют получать полную и достоверную информацию о высотах облачности в режиме реального времени для больших территорий.

КС «Арктика-М»



Наблюдение Земли

Северное полушарие, обширное покрытие.



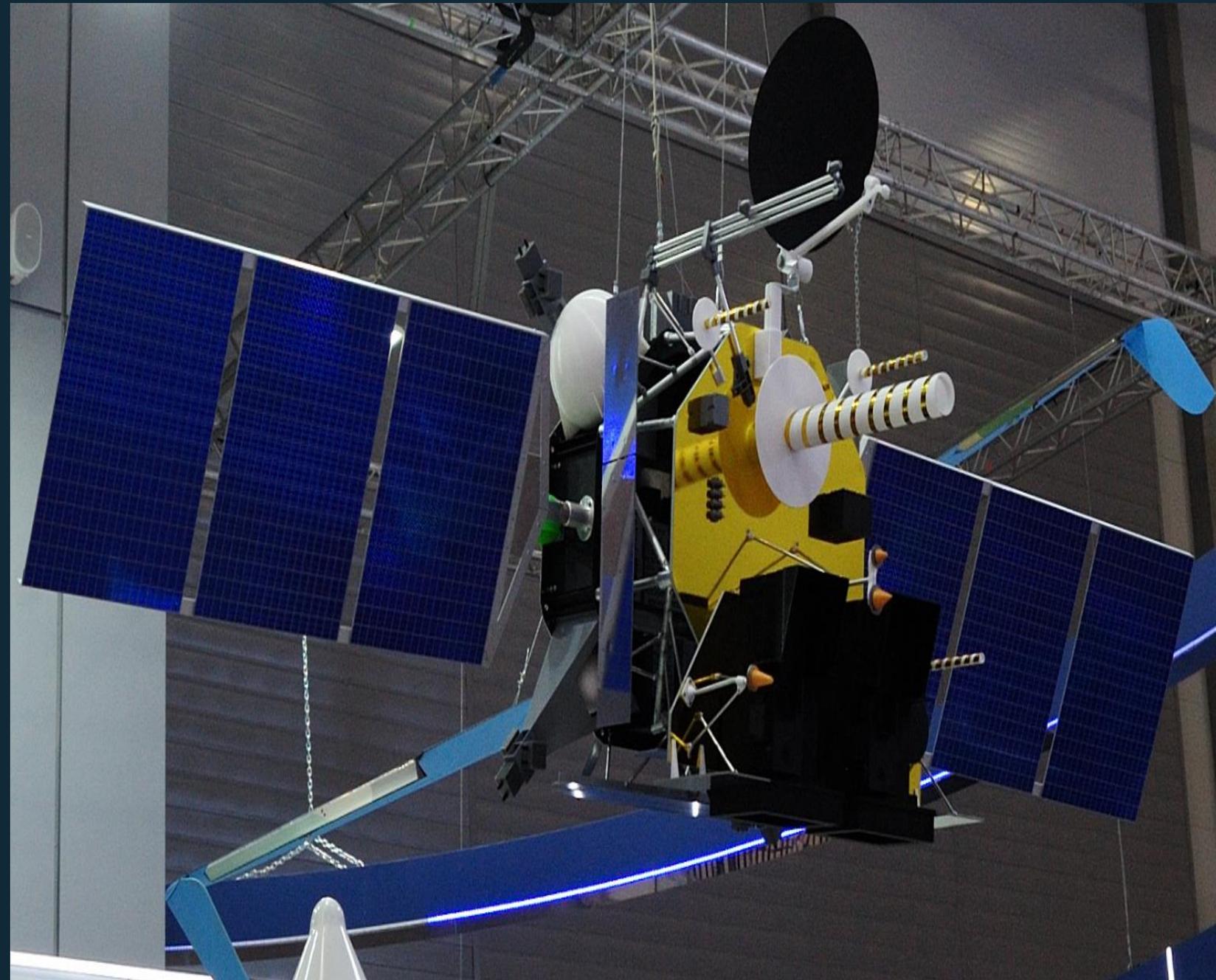
Метеорологические данные

Температура, влажность, ветер.



Определение облачности

Высота, тип, плотность.



Спутник Himawari

1 Геостационарная орбита

Постоянное наблюдение за облачностью.

2 Частое сканирование

Отслеживание изменения облаков.

3 Высокое разрешение

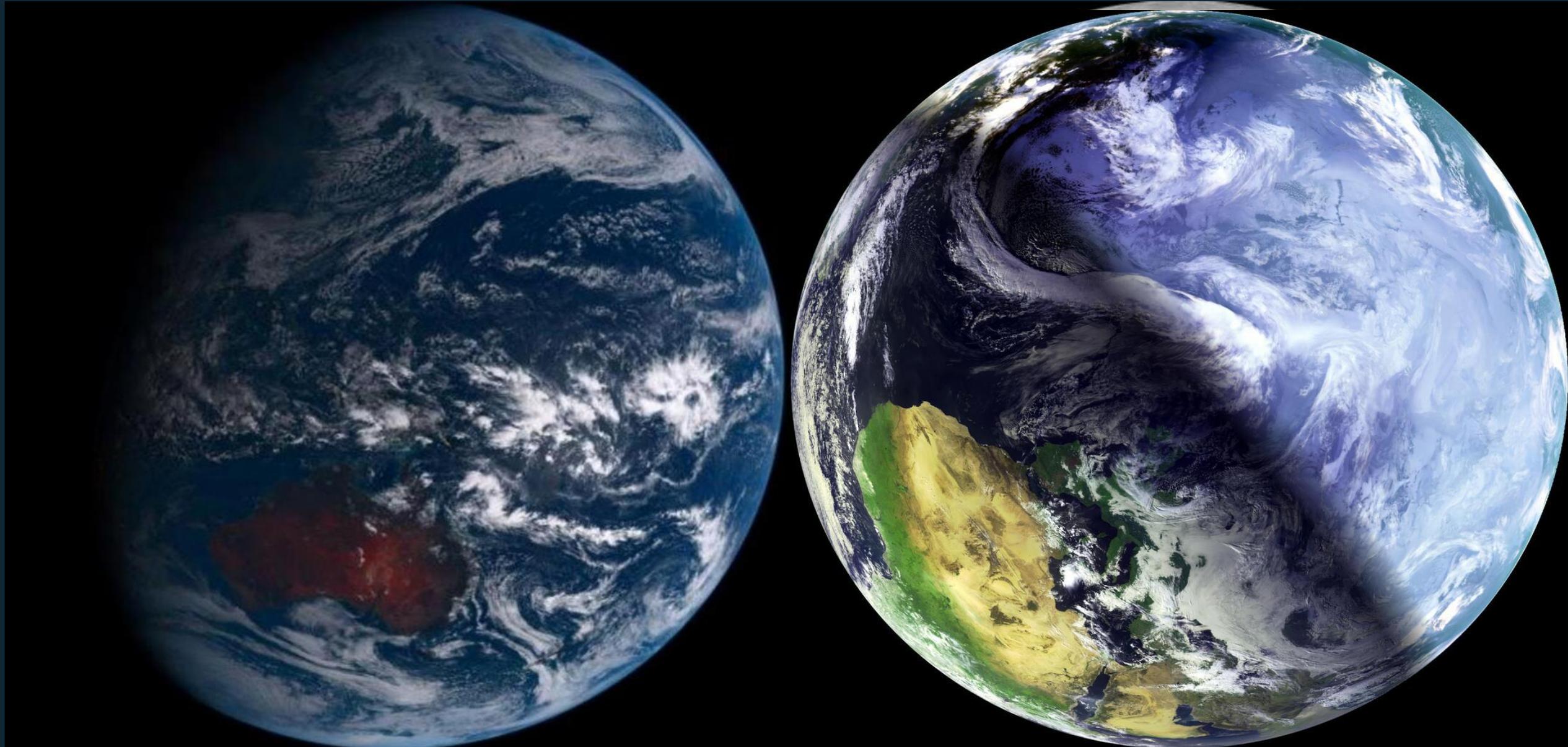
Детальная информация о структуре облаков.



Одновременное покрытие одной территории

Частота получения информации с HIMAWARI составляет 10 минут, покрытие от 80 до -160 градусов долготы и -60 до 60 широты. Частота получения данных с Арктики - 15 минут. Это позволяет не реже чем 2 раза в час получать одновременное покрытие одной территории.

Космические аппараты HIMAWARI и Арктика-М имеют близкие каналы в схожих спектральных диапазонах.



Классический алгоритм нахождения ВГО

- Подбор пар изображений с объектом интереса
- Поиск, сопоставление и фильтрация пар точек на изображении
- Оценка расстояний между точками
- Вычисление высоты объектов



ИС VolSatView

Данный алгоритм был реализован в виде интерактивного инструмента в составе информационной системы мониторинга вулканической активности Камчатки и Северных Курил VolSatView. Инструмент позволяет работать как с данными геостационарного спутника Himawari, так и с данными КА на НОО.

Следует отметить, что помимо возможности оценки высот на основе данных КА «Арктика-М» и КА Himawari-9, реализованный интерактивный инструмент позволяет строить стереопары для всех доступных сочетаний данных приборов MODIS (КА TERRA, AQUA), VIIRS (КА NPP, NOAA-20, NOAA-21), AVHRR (КА POESS NOAA), МСУ-МР (КА «Метеор-М»), MERIS-II (КА FY-3), АНІ

Инструмент «Расчет высоты по стереопаре» в ИС VolSatView

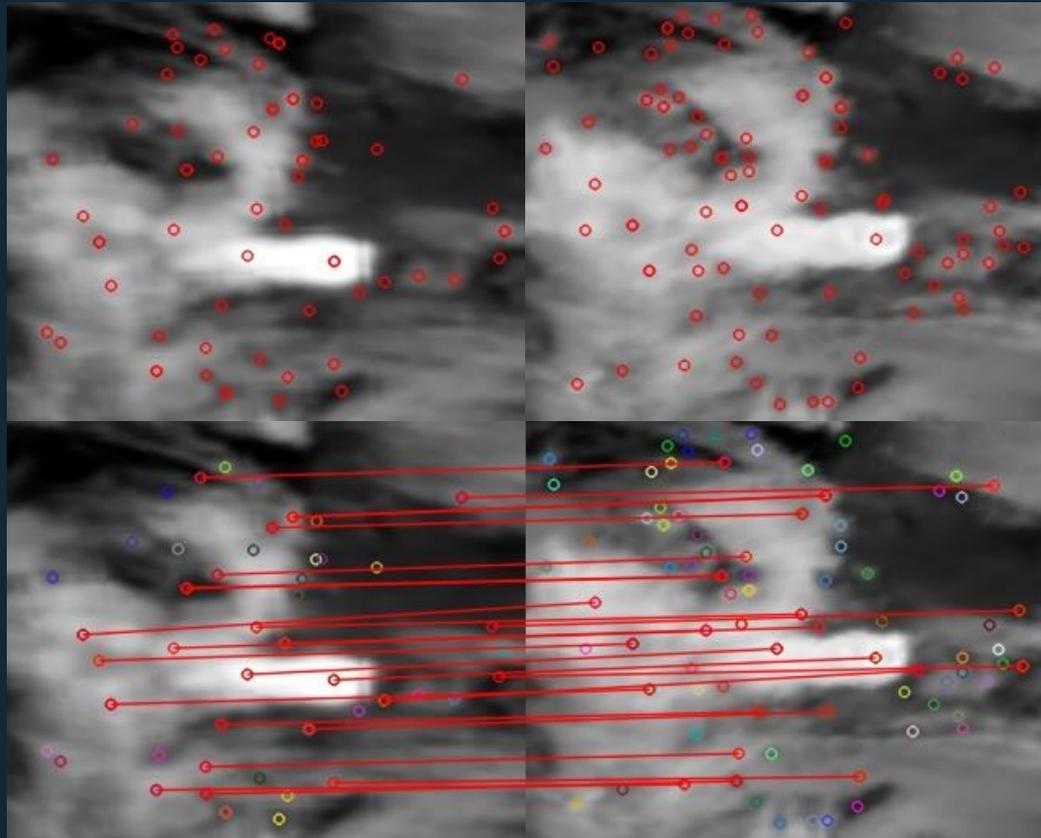
The screenshot displays the VolSatView software interface. The main window shows a satellite stereo image of a mountain range. A popup window titled "Высота по стереопаре" (Height by stereo pair) is overlaid on the image, displaying the following information:

- Высота по стереопаре: 5272 метров
- Использованные для расчета данные:
- Сцена 1: 2024-11-12 03:40:00 AQUA
- lat 1=55.41676135005453, lon 1=162.91298380479827
- Сцена 2: 2024-11-12 03:40:00 HIMAWARI-8
- lat 2=55.51798780806979, lon 2=162.86960103707744

The interface includes a left sidebar with various controls:

- Buttons for "Пред. порция" (Previous portion), "В корзину" (To basket), "След. порция" (Next portion), and "Снять выделение" (Remove selection).
- Checkboxes for "Только для выбранного продукта" (Only for selected product) and "Настроить параметры визуализации" (Adjust visualization parameters).
- Product settings: "По умолчанию" (By default), "Отображать в виде контуров" (Display as contours), "Показывать изображения" (Show images), and "Настроить параметры визуализации" (Adjust visualization parameters).
- Background data settings: "Фоновое покрытие данными" (Background data coverage), "Не отображать" (Do not display), "Контур" (Contour), and "Изображение" (Image).
- Footnote: "* Время сцен указывается по UTC" (Scene times are indicated in UTC).
- Thermal anomalies: "Термальные аномалии по сеансу и вулкану" (Thermal anomalies by session and volcano), "Все вулканы" (All volcanoes), "Отображать термальные аномалии" (Display thermal anomalies), and "Ручные термальные аномалии" (Manual thermal anomalies).

The main window also features a toolbar with navigation and analysis tools, and a small inset map in the bottom right corner showing the current location on a world map.



Автоматизированный подход для расчета точек

Для автоматизации расчетов был выбран алгоритм компьютерного зрения SIFT (scale-invariant feature transform), который производит поиск контрольных точек на каждом из совмещаемых изображений. Для каждой точки создается вектор с уникальными признаками, после чего пары точек сопоставляются и выбираются лучшие. Затем с использованием специализированной базы данных в автоматическом режиме для этих точек рассчитываются высоты ВГО.

1

Подготовка

Сведение изображений к одному пространственному разрешению

2

Совмещение

Этап поиска контрольных точек SIFT. Расстояние менее 0.5° , совпадает направление, фильтрация по порогу яркости

3

База данных

Сохранение результатов в специализированную БД

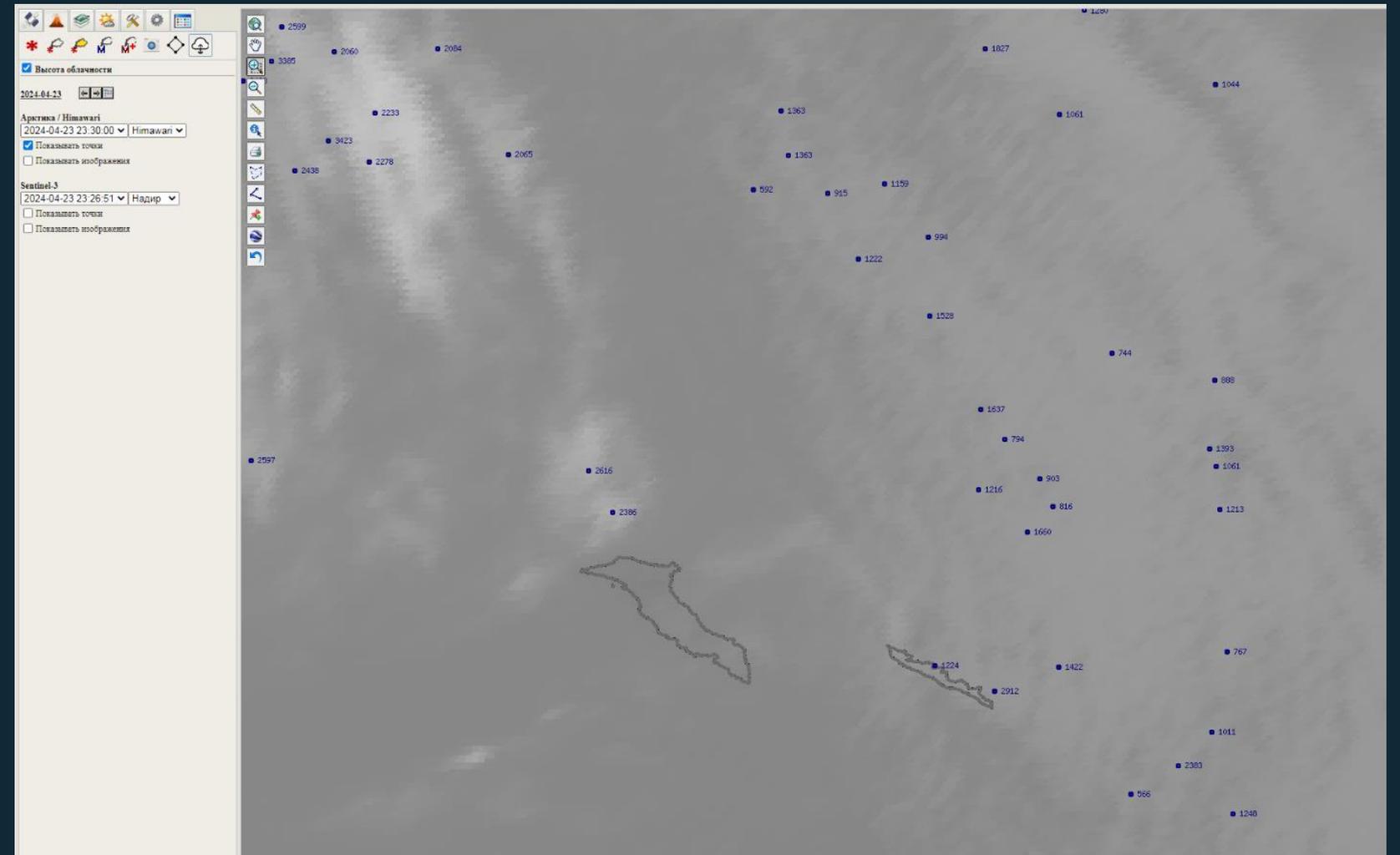
4

Высоты ВГО

Автоматический расчет высот ВГО

Пример получаемого поля точек с высотами в ИС VolSatView

Пример получаемого поля точек с высотами в ИС
VolSatView





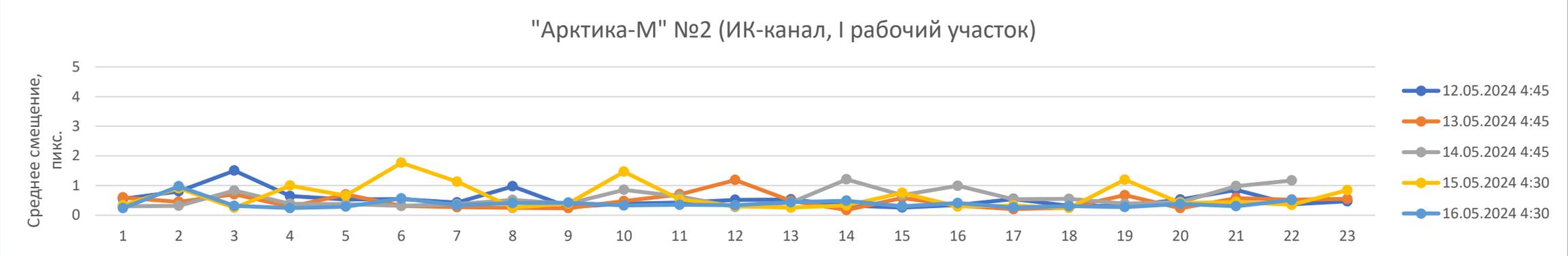
Качество привязки данных

Точность географической привязки используемых данных напрямую влияет на точность восстановления высот. Данные КА Himawari-9 имеют хорошую субпиксельную точность географической привязки. Однако у КА "Арктика-М" есть проблемы с географической привязкой данных из-за сложности схемы наблюдения. Анализ с помощью AROSICS показал, что качество географической привязки данных "Арктики-М" варьируется в зависимости от спутника и витка орбиты (рабочего участка).

Качество взаимной привязки «Арктика-М» №1



Качество взаимной привязки «Арктика-М» №2



Необходимость дополнительной привязки данных

Графики демонстрируют, что в определённых ситуациях ошибки могут достигать нескольких пикселей, что может приводить к значительным погрешностям в определении высоты облаков. По предварительным оценкам, ошибка привязки в 1 км даёт ошибку в определении высоты порядка 0,5 км. Поэтому для повышения точности определения высоты верхней границы облачности с использованием данных КА «Арктика-М», необходимо проводить дополнительные работы по повышению точности географической привязки поступающих с них данных.

Для улучшения точности определения высоты облаков по данным со спутника "Арктика-М" требуется провести дополнительную географическую привязку этих данных.

Анализ точности измерений

1

Выбор объектов

Выбор объектов для исследования точности расчета высоты ВГО

2

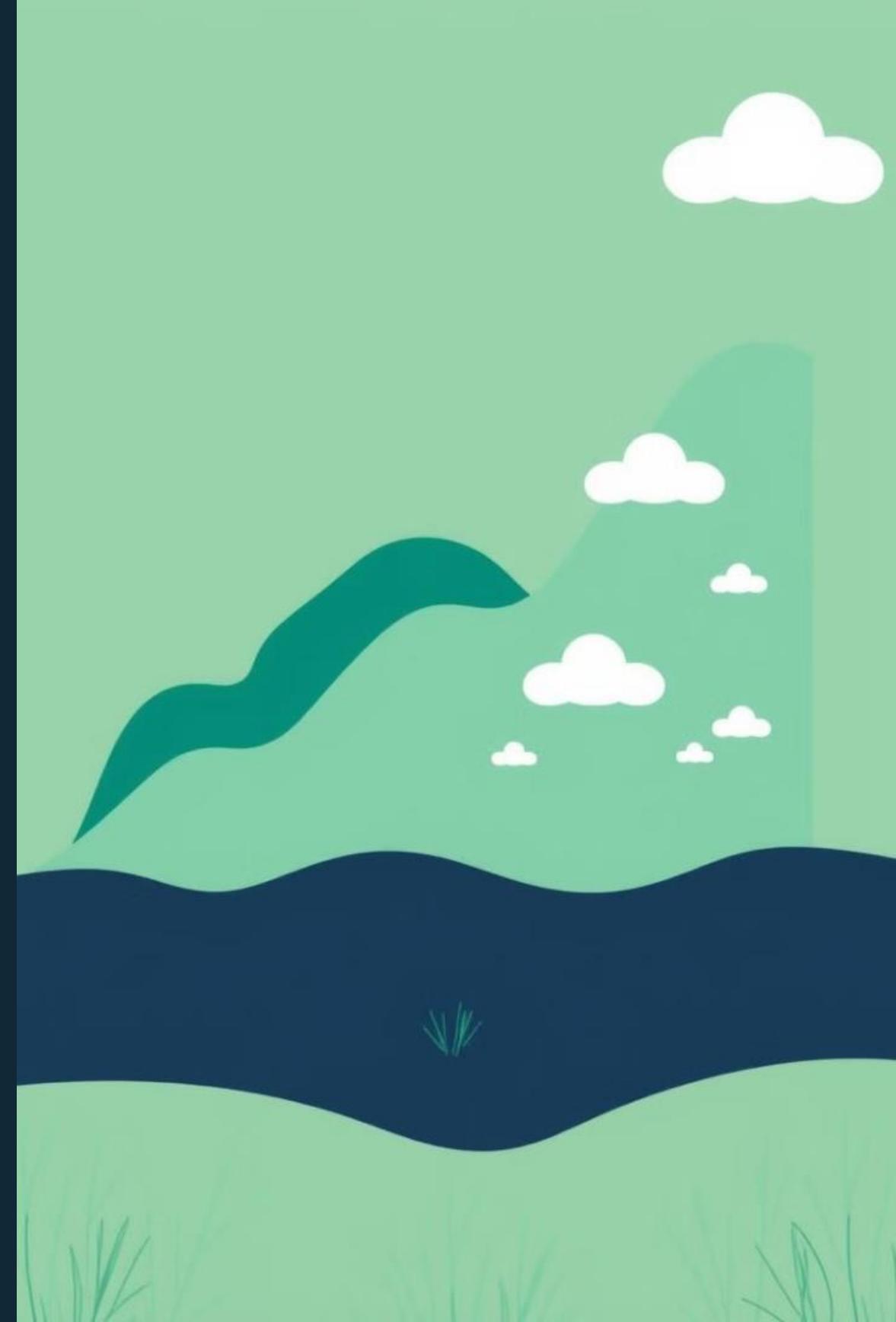
Выбор данных для сравнения

Анализ доступных для сравнения данных

3

Проверка точности

Оценка точности и достоверности.



Предварительные оценки точности
восстановления высоты проводились на основе
анализа хорошо локализованных пепловых
облаков, которые были выброшены вулканами
Ключевской и Безымянный во время их
извержений в ноябре 2023 и июле 2024 года
соответственно.



Варианты данных для сравнения

- Температурный метод (проблема в тропопаузе и температурной инверсии)
- Сравнение с классическими парами НОО – ГСО или наблюдениями Sentinel-3
- Сравнение с моделями
- Камеры наблюдений для выбросов (низкая точность и чаще всего – одна точка наблюдения)
- Использование наземных данных (возможно, метео-радаров и т.п.)

Himawari CloudTopHeight ANI (CLTH)

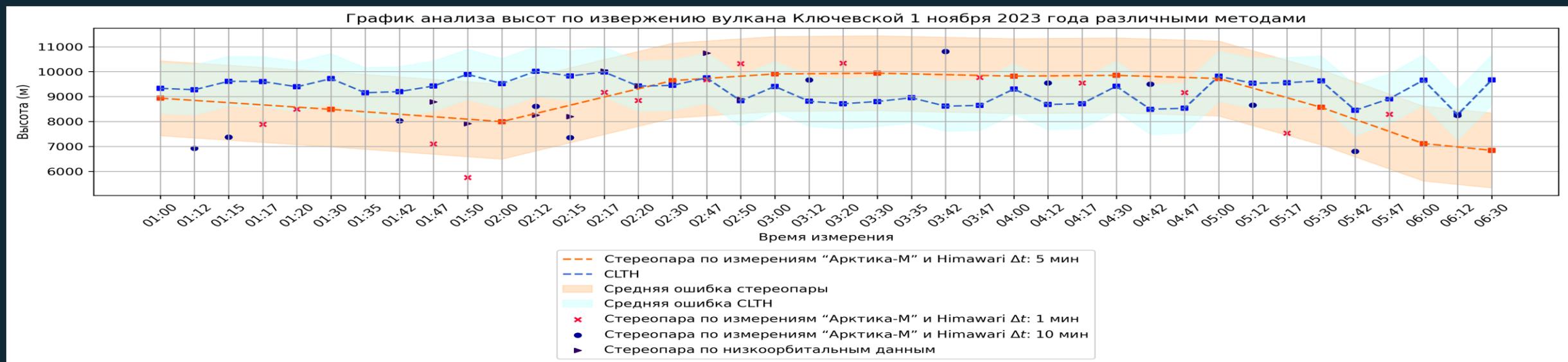
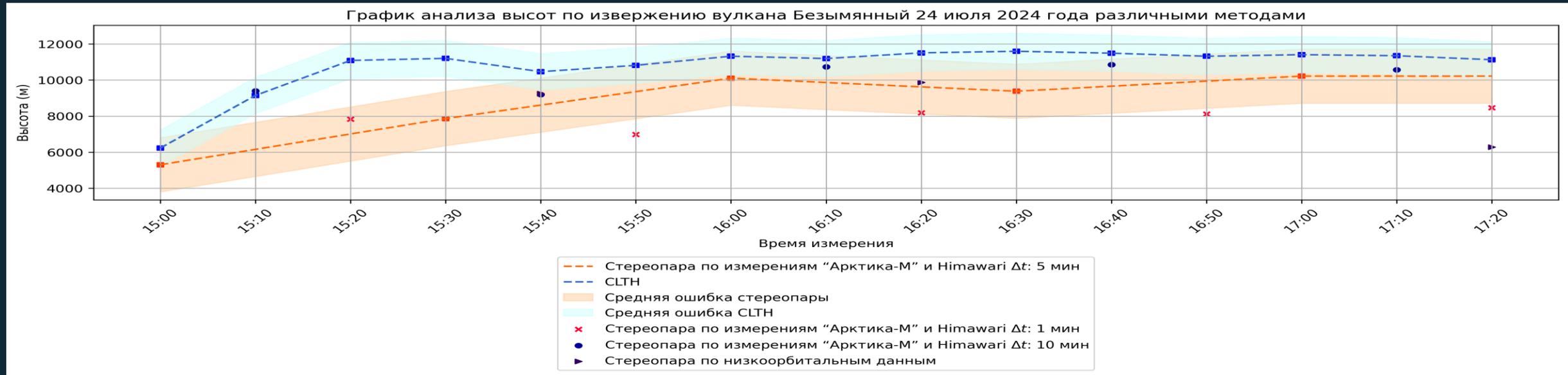
Верификация результатов проводилась посредством сравнения полученных значений с данными, полученными с помощью специализированным продуктом для оценки высоты верхней границы облачности по данным Himawari CLTH

Для пары «Арктика- Himawari» оценивались как номинально синхронные измерения с совпадающими временами начала наблюдения, полученные с частотой 30 минут, так и измерения, полученные по близким, но не совпадающим временам наблюдения с разницей во временах начала наблюдения не более пяти минут в промежутках между синхронными измерениями.

Выбор пар измерений

- **Особенности сканирования:** АНІ сканирует полный диск за 10 минут, а МСУ-ГС/ВЭ — за 6 минут.
- **Зона интереса:** Камчатка и окрестности наблюдаются с 30 до 60 секунды после начала сеанса АНІ.
- **Разница во времени наблюдения:**
 - Для пар с совпадающим временем начала сеанса разница Δt составляет около 5 минут.
 - Если сеанс «Арктика-М» начинается на 5 минут раньше, измерения будут практически синхронными (разница менее 1 минуты).
 - Если сеанс Himawari-9 начинается на 5 минут раньше, разница Δt составит примерно 10 минут.
- **Сравнение методов:** Все измерения методом стереопар сопоставляются с продуктом CLTH, полученным в то же время и точке.
- **Коридор ошибки:**
 - Коридор ошибки для метода стереопары рассчитан, исходя из оптимистичной ошибки привязки данных КА «Арктика-М» в пределах одного пикселя, что приводит к ошибке определения высоты порядка 1500 м, хотя в ряде случаев ошибка может достигать трёх пикселей и более.
 - Для продукта CLTH: оптимистичная средняя ошибка — 1000 метров, но варьируется в зависимости от облачности и может быть выше (Нуо, 2020).

Графики временного хода и сопоставления результатов измерений



Статистика сопоставления измерений стереопары «Арктика- Himawari» с продуктом CLTH

	Всего	$\Delta t = 1$ мин.	$\Delta t = 5$ мин.	$\Delta t = 10$ мин.
Кол-во точек	74	19	35	20
Попадание точки в диапазон ошибки CLTH	44,60%	42,10%	48,50%	40%
Попадание коридора ошибки точки в диапазон ошибки CLTH	87,80%	100%	91,40%	70%

Результаты исследования

- **Результаты анализа:**
 - В 50% случаев значения высоты ВГО, полученные по стереопаре «Арктика-Himawari», совпадают с оценками метода CLTH с учетом ошибки.
 - В 90% случаев оценки, полученные методами «Арктика-Himawari» и CLTH, пересекаются в коридорах ошибок обоих методов.
- **Влияние времени расхождения:**
 - При увеличении времени расхождения между наблюдениями «Арктика-М» и Himawari-9 увеличивается расхождение между оценками.
 - Расхождение заметно даже при разнице во времени в несколько минут.
- **Значение синхронности:**
 - Подтверждается важность синхронности наблюдений для получения корректных результатов измерений высоты ВГО методом стереопары.

Перспективы

Хотя результаты выборочной оценки метода являются достаточно обнадеживающими, в будущем необходимо провести массовую проверку его качества. Наилучшим решением в этом случае будет разработка автоматизированного инструмента для оценки высот. Этот инструмент должен обеспечивать автоматическую сверку рассчитанных высот с данными продукта CLTH, а также, возможно, с другими специализированными продуктами или моделями, чтобы получить статистику по обширной выборке.

Выводы

- **Подтверждение работоспособности метода:** Результаты анализа высоты верхней границы облачности с использованием синхронных наблюдений спутников «Арктика-М» и Himawari-9 подтвердили эффективность предложенного подхода, несмотря на проблемы с географической привязкой данных «Арктика-М».
- **Создание нового инструмента:** Появилась реальная возможность разработки нового инструмента для оперативной оценки высоты облачности с высокой временной частотой и на больших территориях.
- **Необходимость дальнейшего развития:** Рекомендуется продолжать совершенствование данного подхода и проводить полномасштабную верификацию получаемой информации.
- **Автоматизация обработки данных:** Специалистами Дальневосточного центра НИЦ «Планета» и ИКИ РАН разработана потоковая схема обработки данных, которая позволяет автоматически строить поля оценок высоты облачности.
- **Интеграция в системы мониторинга:** Полученные данные интегрированы в систему мониторинга вулканической активности VolSatView и могут быть использованы для анализа, в том числе высот пепловых выбросов.
- **Массовое сравнение результатов:** Реализованная обработка данных позволяет проводить массовое сравнение с другими оценками высоты облачности для верификации и улучшения методологии.

Благодарность

Работа выполняется при поддержке Минобрнауки РФ (тема «Мониторинг», госрегистрация № 122042500031-8) с использованием возможностей Дальневосточного Центра НИЦ «Планета» и Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» (Лупян и др., 2019).

Данные КА «Арктика-м» и HIMAWARI предоставлены ФГБУ «НИЦ «Планета»

Спасибо за внимание!



ИКИ
ИНСТИТУТ
КОСМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
РАН