



ТЕХНОЛОГИЯ ПОТОКОВОЙ ОЦЕНКИ ВЫСОТЫ ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЫ ОБЛАЧНОСТИ ПО СТЕРЕОПАРАМ РАЗЛИЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Волкова Е.Е.¹, Бриль А.А.¹, Бурцев М.А.¹, Лупян Е.А.¹,
Андреев А.И.², Холодов Е.И.²

¹Институт космических исследований РАН, Москва

²Дальневосточный центр ФГБУ «НИЦ «Планета», Хабаровск

Двадцать третья международная конференция «Современные проблемы
дистанционного зондирования Земли из космоса», 10 – 14 ноября 2025 г.

Методы оценки высоты облачности

Температурные

- высокое временное разрешение и большое пространственное покрытие
- эффективны до 8-12 км из-за температурной инверсии

Лидарные

- высокоточные на всём диапазоне высот
- точечный характер измерений и малое количество спутниковых систем

Стереоскопические

- временное разрешение и пространственное покрытие зависят от используемых данных
- крайне важна временная согласованность пар снимков

Стереоскопические методы оценки высоты облачности

Методы основаны на вычислении трёхмерных координат облаков по анализу *стереопары* — одновременных снимков одной территории с разными углами наблюдения.

Возможные варианты пар КА:

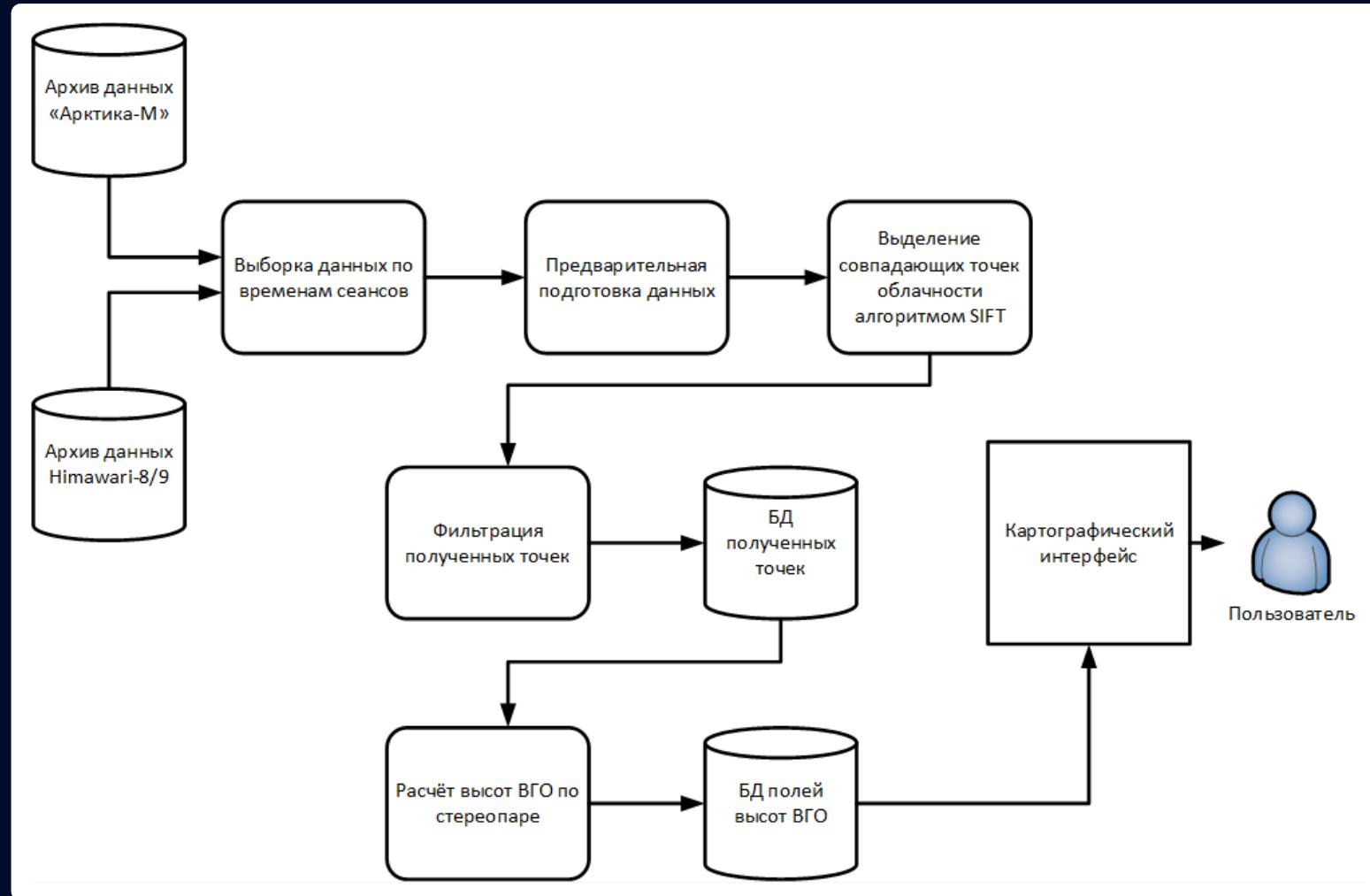
- «геостационарный-геостационарный»
хорошее временное разрешение, но существенно ограничены по территории
- «низкоорбитальный-геостационарный»
покрывают одну и ту же территорию только несколько раз в сутки
- «высокоэллиптический-геостационарный»

Стереопара «высокоэллиптический КА-геостационарный КА»

«Арктика-М» №№1-2 (прибор МСУ-ГС/ВЭ) и Himawari-8/9 (прибор АНІ)

- близкие по спектральному диапазону каналы
 - МСУ-ГС/ВЭ: канал 10,7 мкм,
 - АНІ: канал 11,2 мкм
- синхронность наблюдений
 - позволяет 2 раза в час получать одновременное покрытие одной территории (частота съёмки МСУ-ГС/ВЭ – каждые 15 мин, АНІ – 10 мин)
- оптимальные условия для стереоскопического анализа

Этапы технологии потоковой оценки высоты облачности по стереопаре «Арктика-Himawari»



Выборка данных по временам сеанса

Пары снимков «Арктика-Himawari» формируются для снимков близких по времени: 15 и 20 минут, а также 45 и 50 минут каждого часа, что связано с особенностями сканирования приборов МСУ-ГС/ВЭ и АН1.

Предварительная подготовка данных

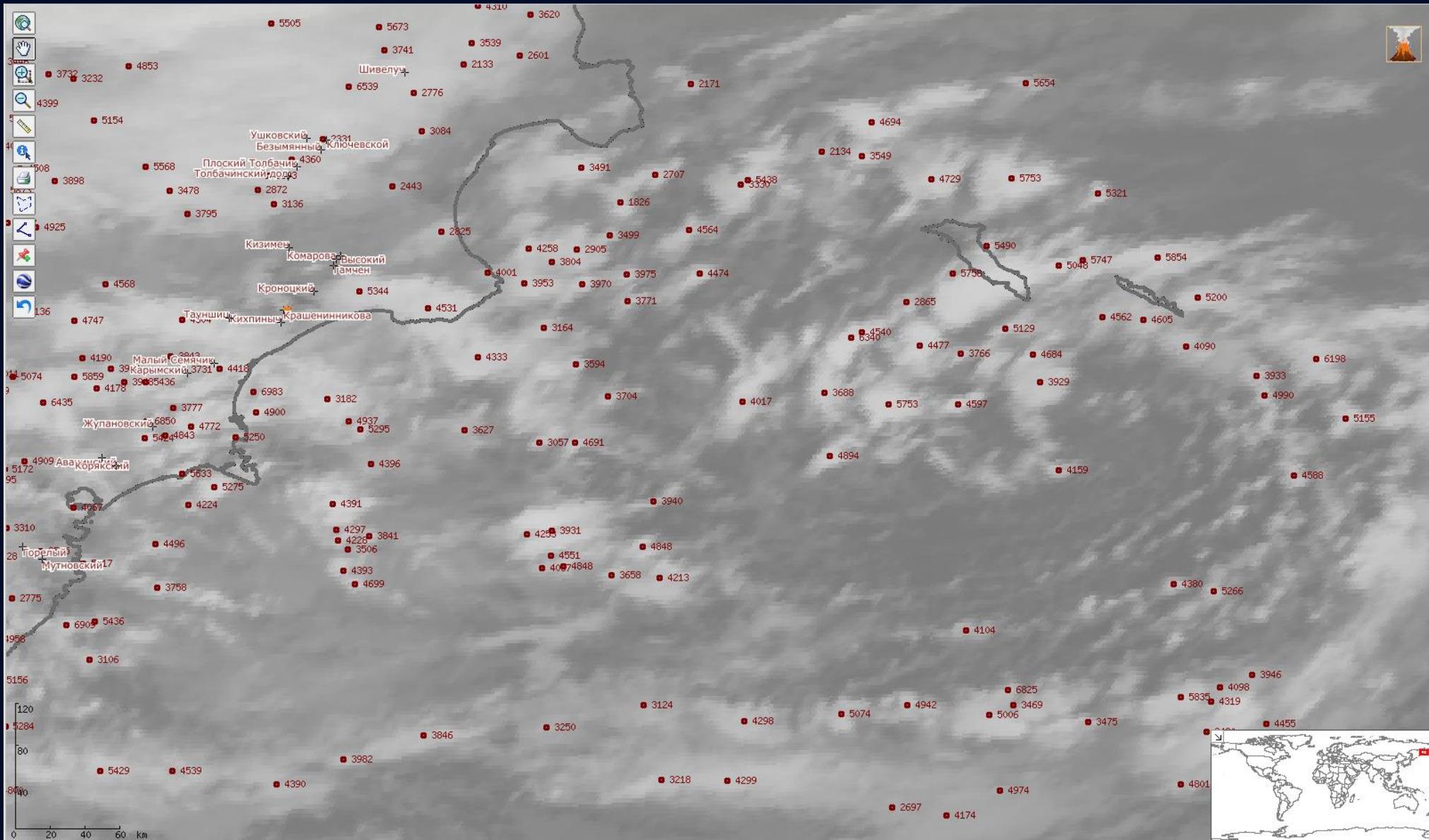
Предварительно выравниваются пространственные разрешения снимков для обеспечения последующей работы алгоритма поиска контрольных точек (*пространственное разрешение МСУ-ГС/ВЭ – 4 км, АН1 – 2 км*).

Выделение совпадающих точек облачности алгоритмом SIFT

Для увеличения количества получаемых контрольных точек был снижен порог контрастности алгоритма из-за достаточно низкой контрастности данных МСУ-ГС/ВЭ.

Фильтрация полученных точек

Фильтрация контрольных точек осуществляется по трём критериям: расстояние между точками менее $0,5^\circ$, совпадение направления смещений, порог яркости для отделения облаков от поверхности Земли.



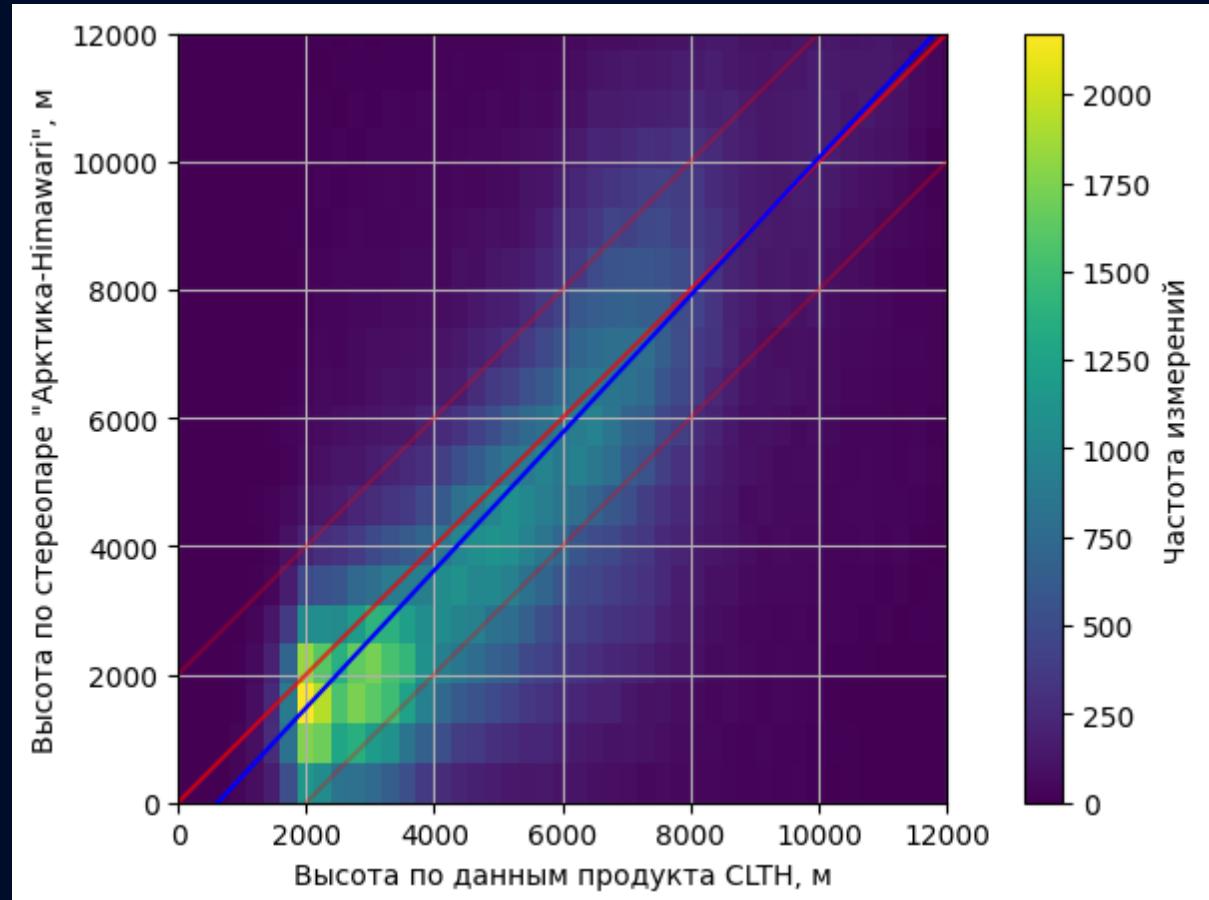
Пример рассчитанного поля высоты верхней границы облачности, интегрированного в информационную систему VolSatView. Подложка — данные AHI за 11.10.2025 00:20 UTC в канале 14 (11,2 мкм)

Оценка точности и валидация результатов

Валидация результатов проведена путём сопоставления автоматизированных оценок высот по парам «Арктика-Himawari» с данными продукта Cloud Top Height (CLTH) (Mouri et al., 2016) за период ноябрь 2024 – апрель 2025 гг.

Проанализировано около 220 тыс. точек для «Арктика-Himawari».

- На малых высотах (0–2000 м) данные стереопары менее достоверны вследствие ограничений пространственного разрешения и геопривязки.
- На средних высотах (2000–7000 м) значения стереопары близки к значениям CLTH.
- Начиная с ~7000 м, данные стереопары превышают показатели CLTH, что связано с температурной инверсией, влияющей на температурные методы.

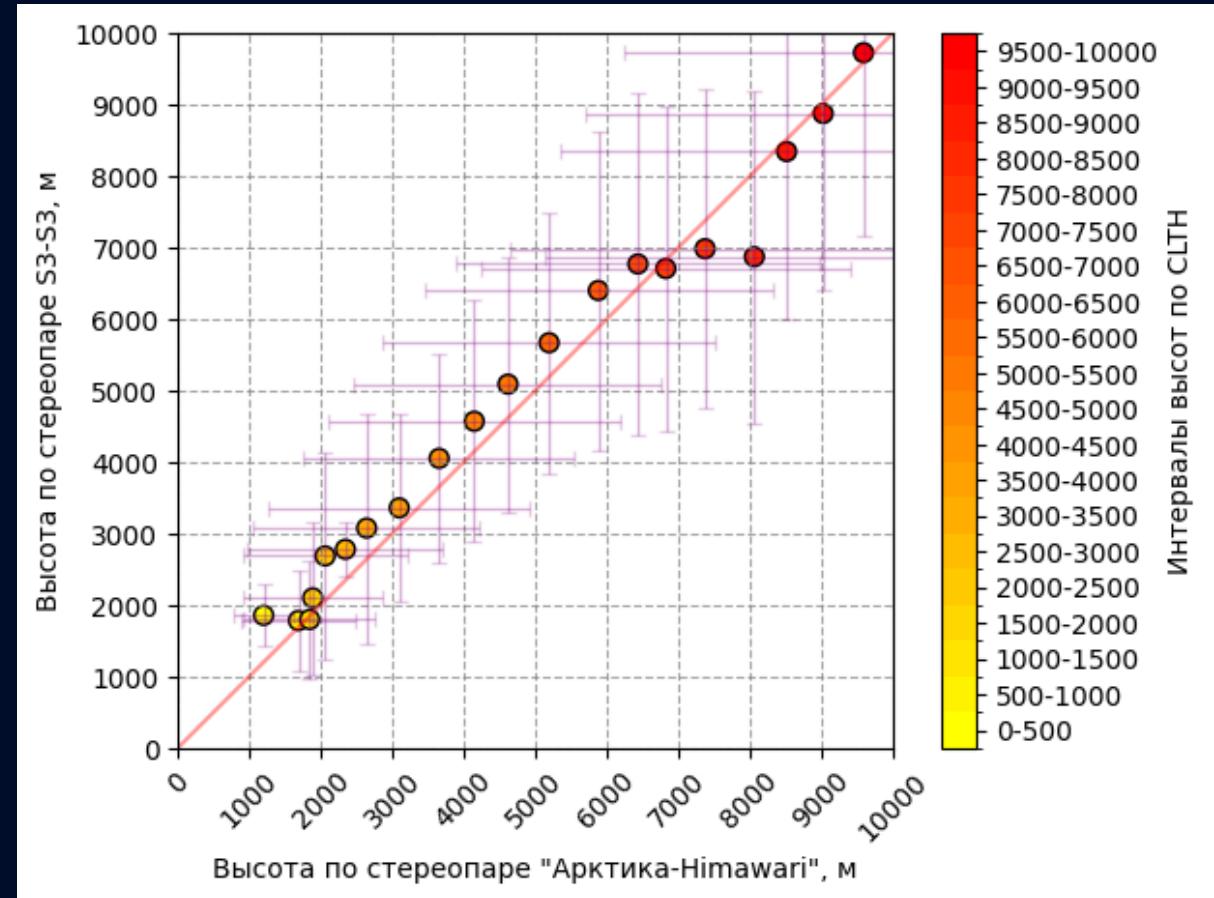


Mouri K., Suzue H., Yoshida R., Izumi T. Algorithm theoretical basis document for cloud top height product // Meteorological Satellite Center Technical Note. 2016. No. 61. P. 33–42.

Двумерная гистограмма сопоставления высоты по стереопаре «Арктика – Himawari» и данных CLTH. Розовым цветом показаны границы коридора двух ошибок продукта CLTH, красным – линия $x = y$, синим – линия регрессии для отфильтрованной выборки

Оценка точности и валидация результатов

- Валидация результатов проведена путём сопоставления автоматизированных оценок высот по стереопарам «Арктика-Himawari» и Sentinel-3 (S3-S3) за период ноябрь 2024 – апрель 2025 гг.
- Независимые методы стереопар демонстрируют хорошую согласованность, подтверждая надёжность подхода.



Точечный график сопоставления высот по стереопарам «Арктика – Himawari» и S3-S3 посредством кросс-валидации по данным CLTH на интервале от 0 до 10000 м с шагом 500 м. Красным цветом показана линия $x = y$

Заключение

- Представлена разработанная и реализованная автоматическая технология потоковой оценки высоты верхней границы облачности на основе синхронных стереоскопических наблюдений с космических аппаратов «Арктика-М» №№1-2 и Himawari-8/9.
- Метод позволяет получать достаточно точные и частые обновления полей высот, сопоставимые по качеству с продуктом CLTH, но с преимуществом массовости и систематичности.
- Результаты позволяют существенно расширить возможности оперативного мониторинга атмосферных процессов, прогнозирования погоды и оценки чрезвычайных ситуаций.
- Перспективы связаны с интеграцией новых данных и повышением точности метода: улучшением фильтрации полученных точек и качества геопривязки исходных данных.

Спасибо за внимание!

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

*Данные КА «Арктика-М» и *Nimawari* предоставлены ФГБУ «НИЦ «Планета».*

