



Распознавание облачности глубокой конвекции по дистанционным данным геостационарных МИСЗ с помощью методов машинного зрения

**Шишов А.Е.,
Горлач И.А.,
Гидрометцентр России**

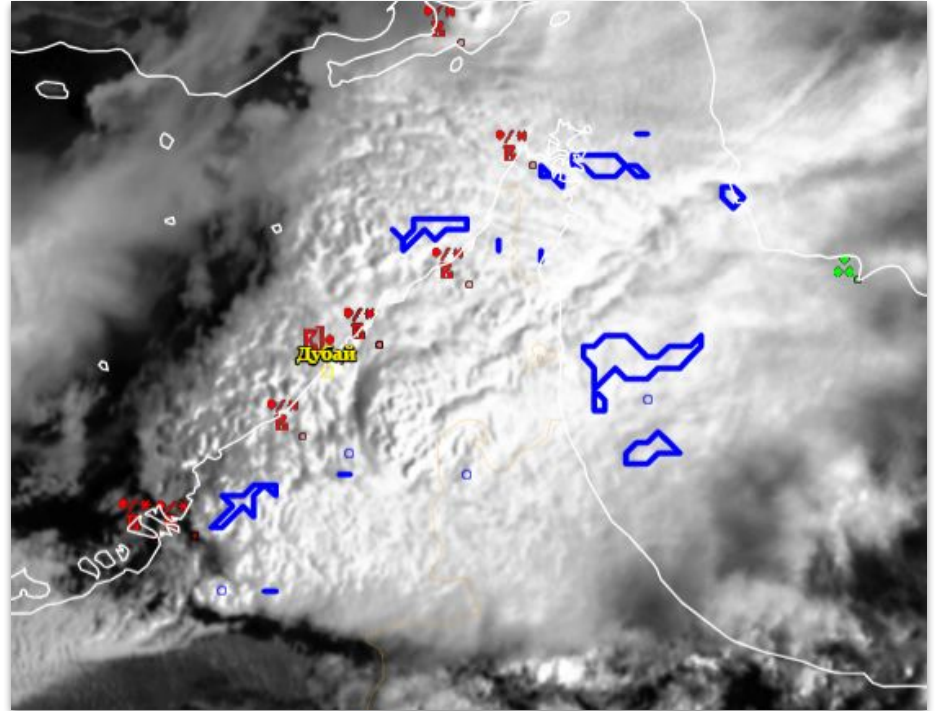
Исследование проведено в рамках НИР Росгидромета АААА-А20-120021490079-3

**V Всероссийская конференция с международным участием
"Турбулентность, динамика атмосферы и климата"
Москва, 19-21 ноября 2024 г.**

Цели работы

На примере случая наводнения в Дубае 15-16 апреля 2024 года:

1. Демонстрация применения методов формализации параметров формы ВГ ОГК, оценки площади контуров ВГ и топографии, времени жизни ячеек МКК.
2. Сравнение дистанционных и наземных измерений.



Наводнение 15-16 апреля 2024г в Дубае: факты

- * 1,6 - 2,4 млрд. долларов убытков.
- * 1 244 отменённых рейсов.
- * На некоторых станциях ОАЭ зафиксировано выпадение **более 250 мм** осадков за сутки.
- * ~**165 мм** осадков выпало в аэропорту Дубая (~**142 мм за 1 день**).
- * **5** погибших.

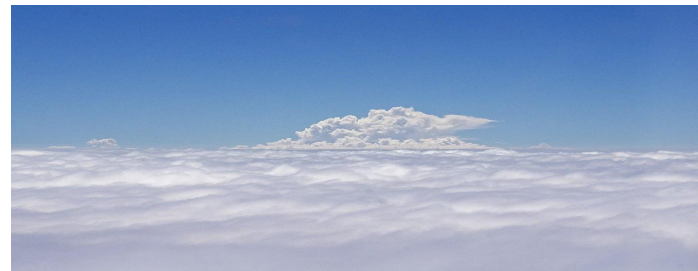


Гроза, как будто
наступила ночь



Синоптические данные 15-16 апреля в Дубае

В Дубае гроза началась **15 апреля в 14:00 ВСВ** и продолжалась с перерывами **до 16 апреля 18:00 ВСВ**.
Температура в 12:00 ВСВ 15 апреля достигла +34 °С.
Суммарное количество осадков за 16 ч - 165 мм.



В Абу-Даби (130 км юго-западнее Дубая) дождь с грозой начался в ночь с 15 на 16 апреля.
и продолжался до утра 17 апреля. **Выпало 105 мм осадков.**

В Бахрейне (390 км западнее Дубая) **выпало 42 мм** осадков на большой площади.

В Эр-Риаде (850 км западнее Дубая) осадков не наблюдалось, однако данные аэрологического зондирования за **15 апр в 12:00 ВСВ** показали, что ветер в нижнем слое (0-2 км) имел ЮВ направление и скорость 10 м/с, а в слое 3-5км - ЮЗ направление и скорость 15-20 м/с (поток с Красного моря).



Система **М**ониторинга **О**блачности **Г**лубокой **К**онвекции

Функционал:

1. Распознавание облачности глубокой конвекции (ОГК) по данным:
 - a. спутниковых измерений геостационарного МИСЗ в ИК диапазоне;
 - b. численного-прогноза погоды (ЧПП)
2. Оценка векторов смещения ОГК;
3. Построение интерактивных карт на основе комплекса данных:
 - a. спутниковых измерений;
 - b. радарных измерений;
 - c. синоптических наблюдений;
 - d. выходных численного-прогноза погоды (ЧПП)

Канал: IR 10,8 (Электро-Л и Арктика-М)

☒ Явления

☐ Радары

Измерения

Продукты

COSMO

ICON

6.6

21с.ш. 55в.д.

-75 -80

-70 -68 -66 -64 -62 -60 -58 -56 -54 -52 -50 -45 -40 -35 -30 -25

IR 10,8 (Электро-Л и Арктика-М):

200 К | -73.15°C

IR 10,8 Meteosat 0°:

неизвестно

WV 6,2 Meteosat 0°:

неизвестно

WV 6,2 - IR 10,8 Meteosat 0°:

неизвестно

WV 6,2 - WV 7,3 Meteosat 0°:

неизвестно

Макс. радарная отражаемость:

Дубай

Высота ВГО по ДМРЛ (м):

неизвестно

Здесь конвекция

Здесь нет конвекции

Пример представления комплекса информации

Ветер: Приземный

Изолинии: Давление у поверхности

15.04.2024

02:00

Период обновления (сек):

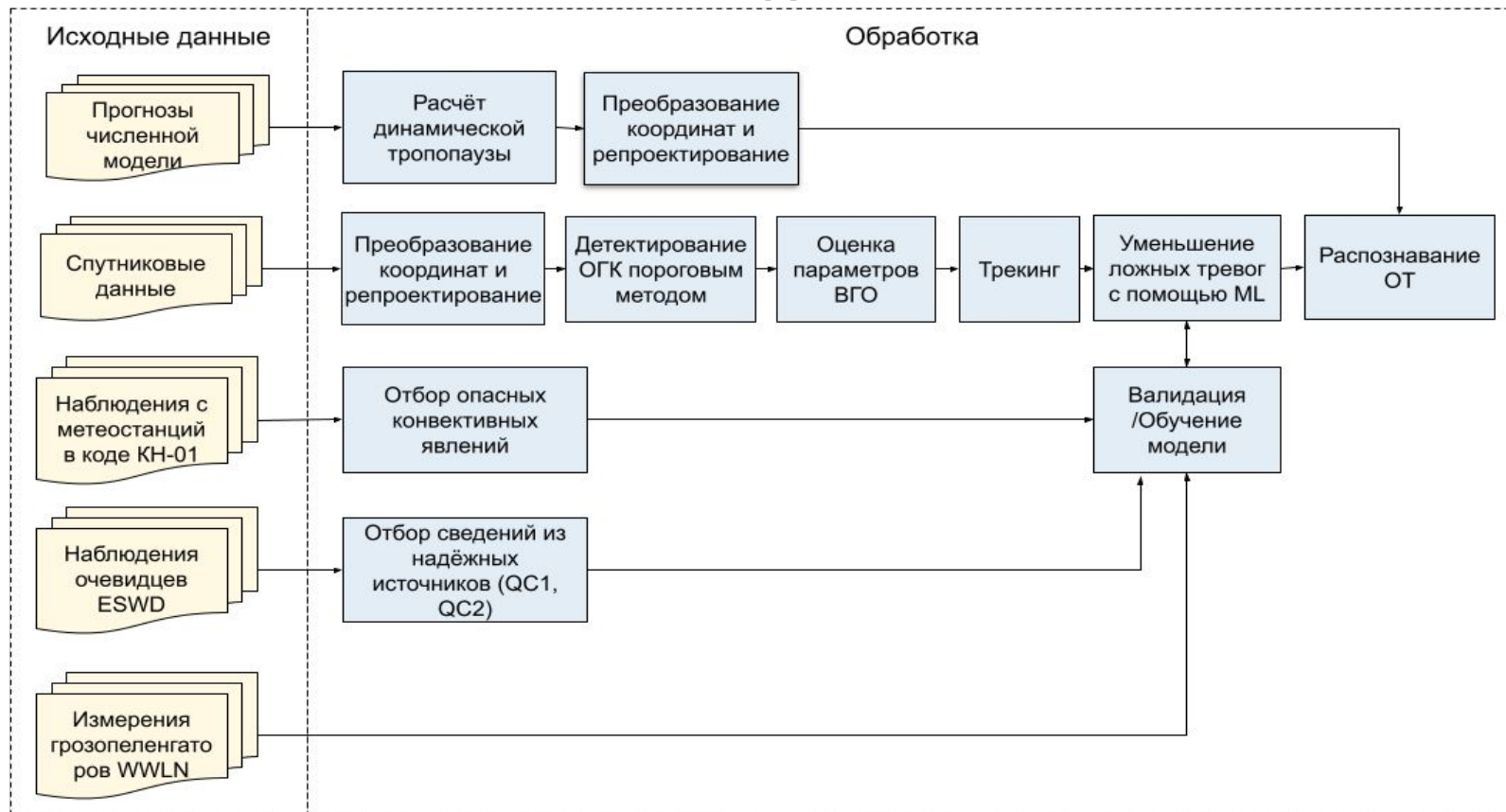
10

Проекция:

Стереогр. (Сибирь)

СМОГК – web технология распознавания ОГК

Методика

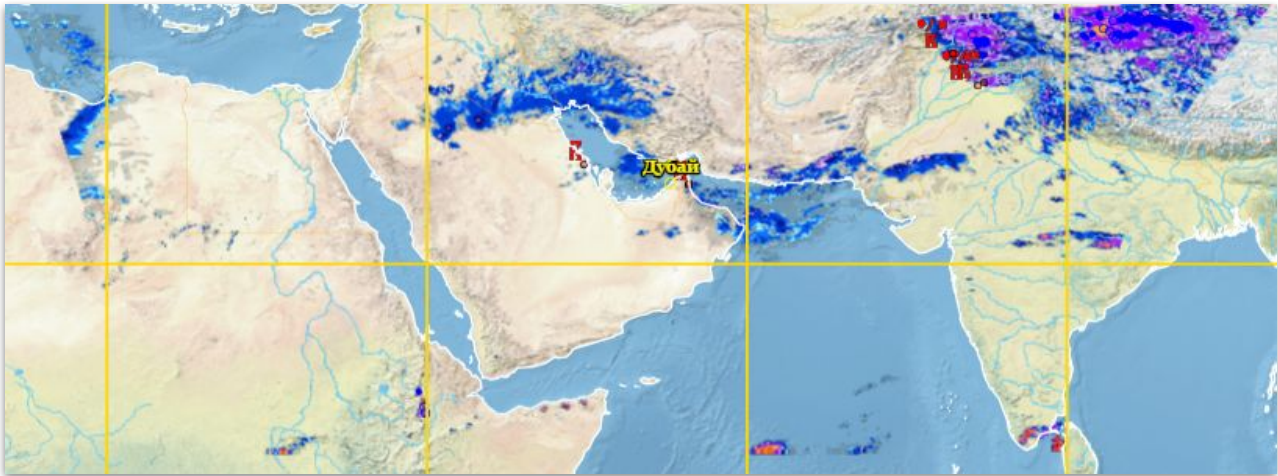


Исходные данные для исследования наводнения в Дубае

Период: 15-17 апреля 2024 г.

Регион: Аравийский
полуостров и
близлежащие регионы
(7,7-35° с.ш., 0-80° в.д.)

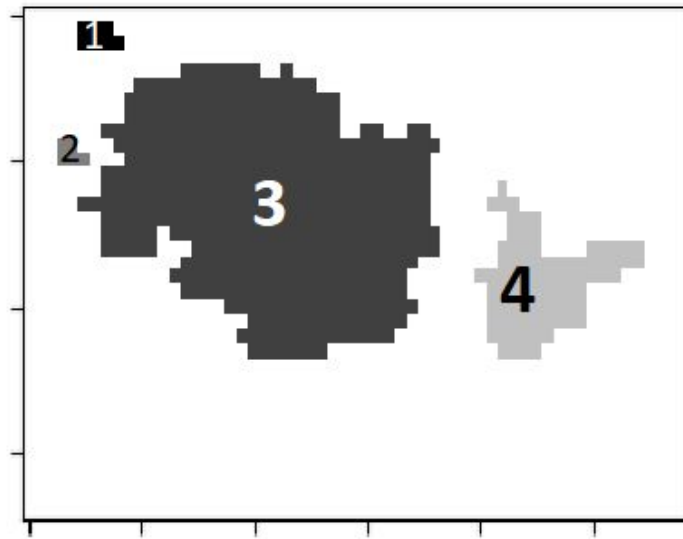
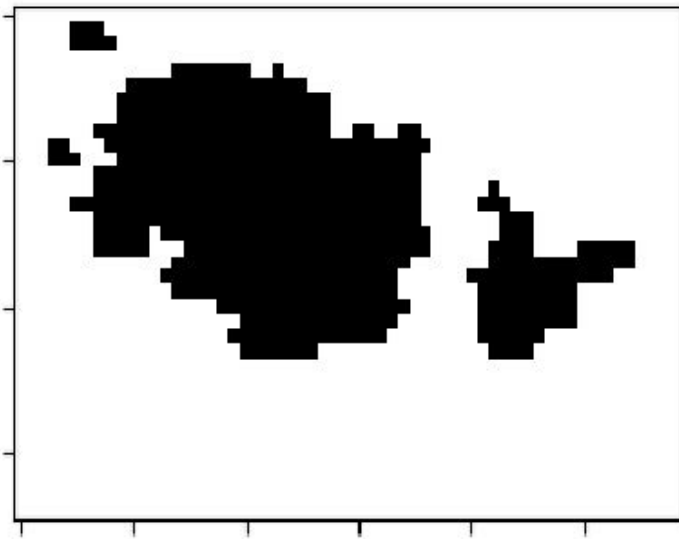
Исходные данные	Шаг по времени	Пространственное разрешение
Измерения спутника Meteosat-9 MSG SEVIRI	15 мин	3-4 км
Модель ЧПП COSMO-Ru 6,6	1 час	6,6 км
Модель ЧПП ICON DWD Global 13,3	3 часа	13 км



Этап 1. Использование порогов для выделения маски ОГК и масок объектов

Канал (диапазон ИК) или разность	Критерий отнесения к ОГК	Интерпретация
IR 10,8	$< 225 \text{ K}$	Характерный диапазон для оценки температуры верхней части облака.
IR 10,8 - WV 6,2	$> -4 \text{ K}$	Характерные значения для оценки вертикальной мощности облака.
WV 6,2 - WV 7,3	$> -4 \text{ K}$	Дополнительные характерные значения для оценки верхней части мощного облака.

Этап 1. Выделение маски ОГК и масок объектов



Выделение маски ОГК

(0,1 – присвоение каждому пикселю значение Нет ОГК или Есть ОГК)



Выделение масок объектов

(номера объектов - 1,2,...K – объединение в группы пикселей)

Этап 2. Расчёт характеристик объектов.

Параметры распределения температуры

Показатель	Интерпретация
Минимальная температура ВГО (К)	Температура купола.
Максимальная температура ВГО (К)	Температура нижней части облака.
Средняя температура ВГО (К)	Средняя температура верхней границы.
Среднее квадратичное отклонение температуры ВГО (К)	Неравномерность распределения температуры (абсолютный показатель).
Коэффициент вариации температуры ВГО (К)	Неравномерность распределения температуры (относительный показатель).

+ Те же показатели за предыдущие сроки (t-15 мин, t-30 мин, t-60 мин)

Расчёт характеристик объектов.

Параметры формы контуров ВГО

Показатель	Интерпретация
Площадь (кв. км)	Размер объекта (площадь).
Угол наклона описывающего эллипса	Вытянутость объекта относительно координаты X.
Отношение малой оси описывающего эллипса к большей	Вытянутость объекта.
Эксцентриситет описывающего эллипса	Вытянутость объекта.
Длина малой оси описывающего эллипса (км)	Размер объекта (диаметр).
Длина большей оси описывающего эллипса	Размер объекта (диаметр).
Моменты Хью 1-7-го порядков	Тип формы: окружность, прямоугольник и т.п. (инвариантны относительно перемещения, масштабирования и вращения).

Этап 3. Подготовка данных для машинного обучения и валидации

Предикторы (X)	Целевая переменная (Y)
1. Параметры распределения температуры ВГО за текущий срок (t). 2. Параметры формы ВГО за текущий срок (t). 3. Параметры распределения температуры ВГО за предыдущие сроки (t-15, t-30, t-60). 4. Параметры формы ВГО за текущий срок (t-15, t-30, t-60).	Признак подтвержденности ОГК, т.е. наблюдения вблизи выделенного контура конвективных опасных явлений (ОЯ).

Целевая (минимизируемая) функция - бинарная кросс-энтропия:

$$L(y, \hat{y}) = - \sum_{n=1}^N \sum_{t=t_n^b}^{t_n^d} [y_n^t \log \hat{y}_n^t + (1 - y_n^t)(1 - \log \hat{y}_n^t)],$$

где N — количество наблюдений в обучающей выборке.

Этап 4. Сверхкраткосрочный прогноз направления смещения выделенных контуров ОГК

По данным геостационарного МИСЗ на основе метода оптического

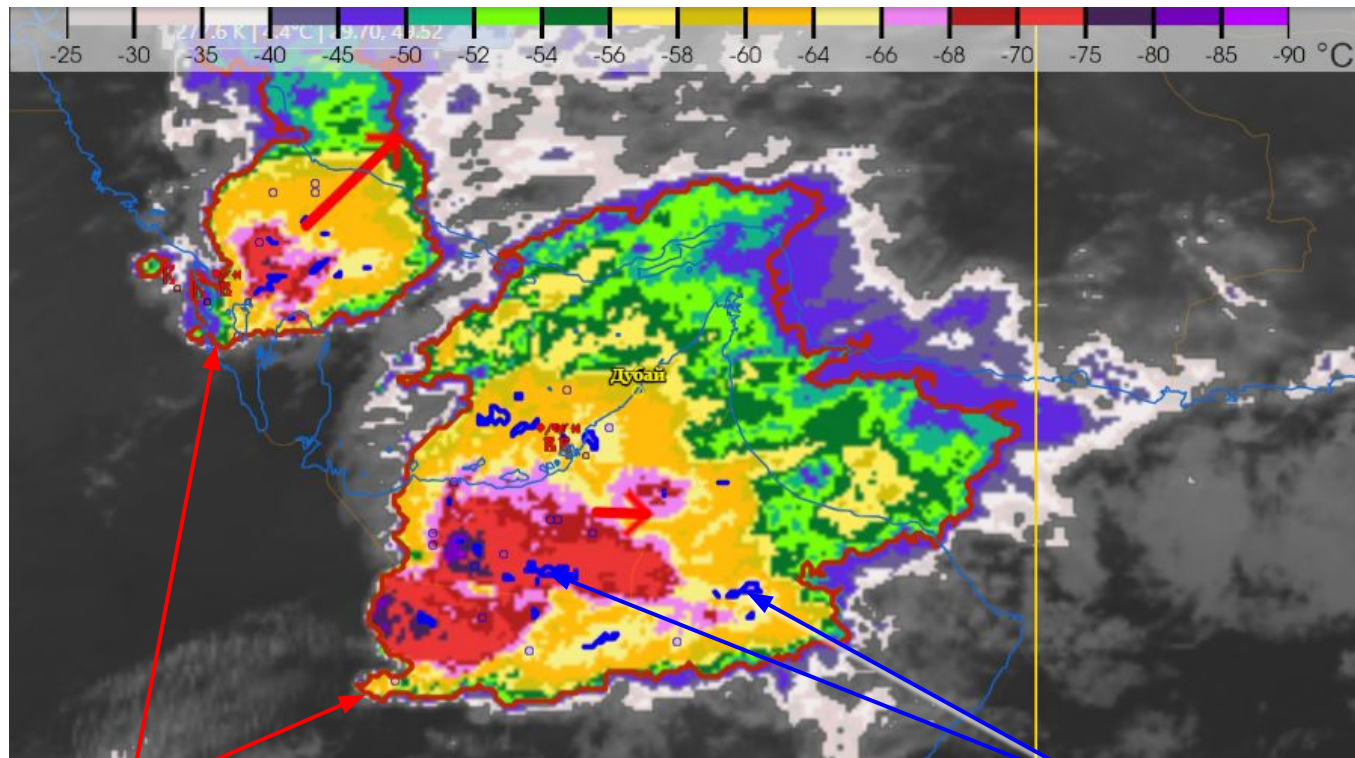
$$\frac{\partial T}{\partial i} u + \frac{\partial T}{\partial j} v + \frac{\partial T}{\partial t} = 0.$$

использован **Алгоритм:**

1. Выбор наиболее примечательных пикселей (с наибольшим градиентом).
2. Построение векторов оптического потока с помощью метода Лукаса-Канаде для каждого из выбранных пикселей.
3. Исключение отклоняющихся векторов (более, чем на 90° от не менее половины других векторов).
4. Расчёт среднего вектора смещения (для всего объекта ОГК).

$$\overline{d}_t = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K d_{tk}$$

Результаты распознавания ОГК (пример для 20:00 ВСВ 15.04)

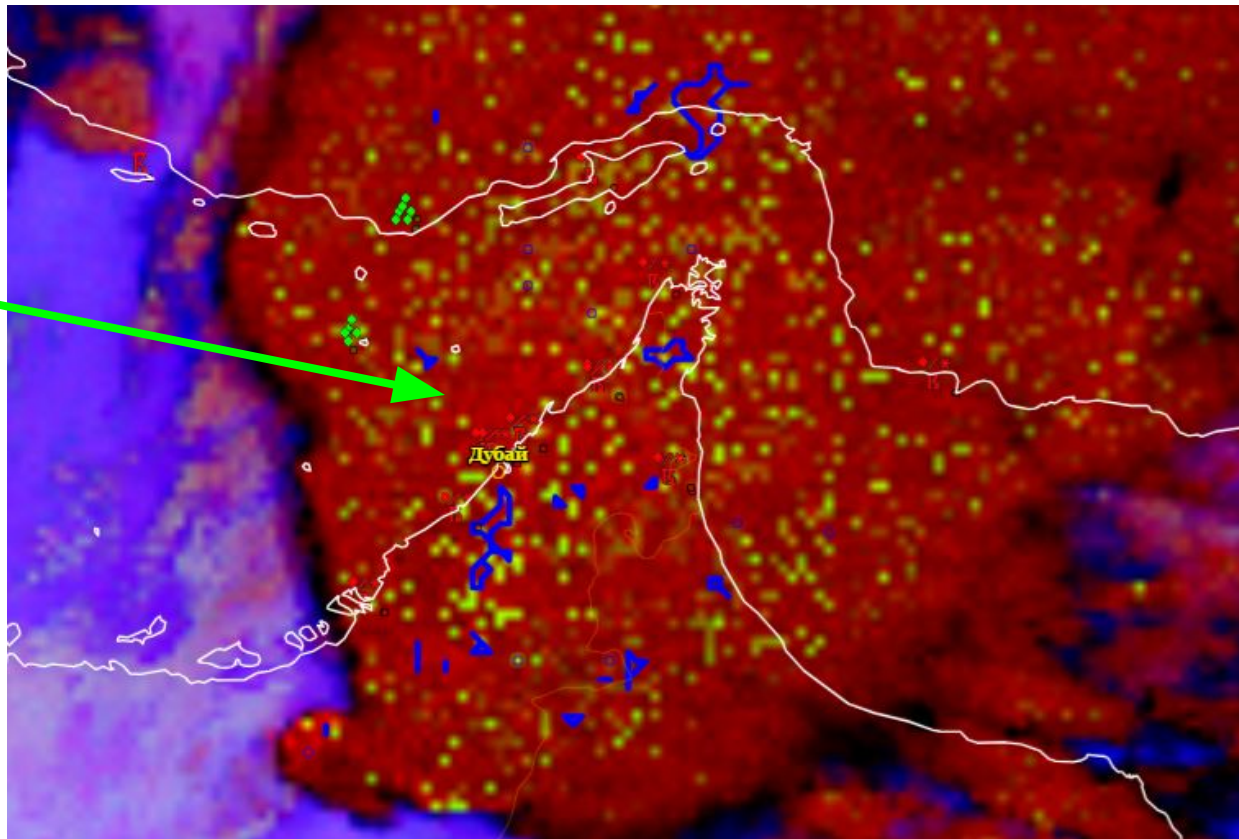


Выделение красным контуром
ОГК

Выделение синим контуром областей возможного пробивания тропопаузы
(где температура ВГО ниже температуры тропопаузы).

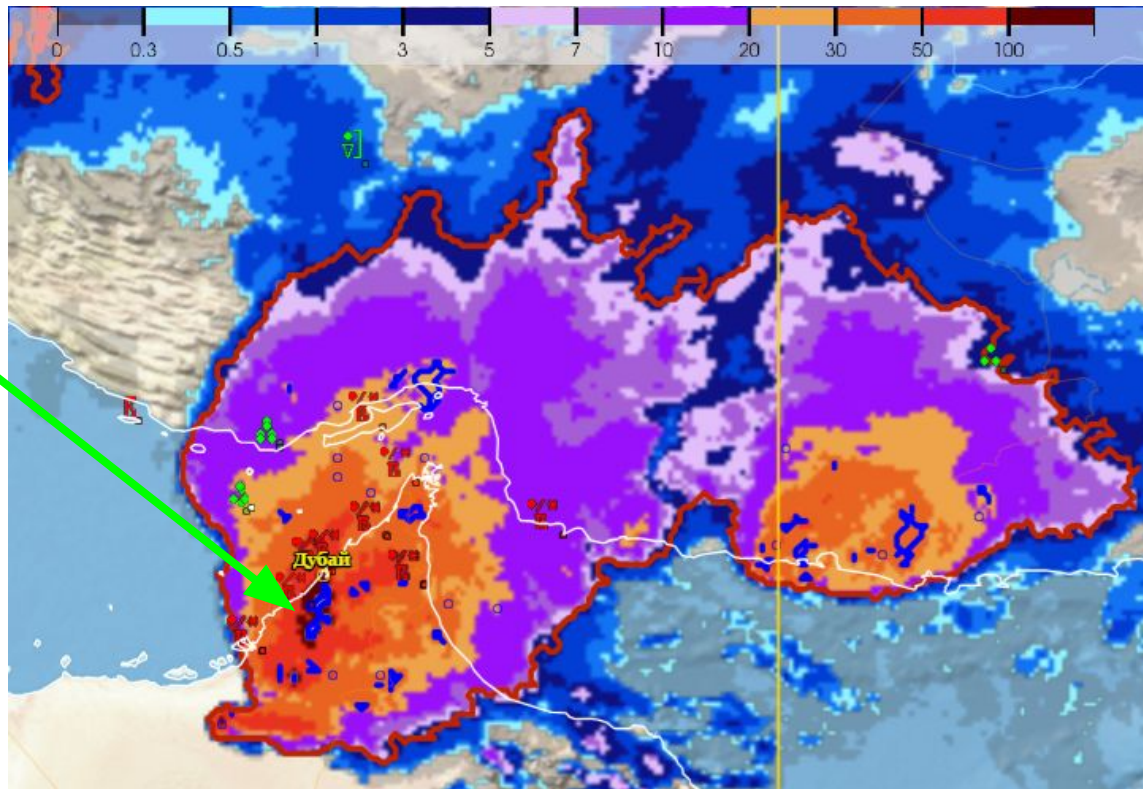
16 апреля, 15:00 ВCB, продукт Night Microphysics RGB, Метеосат-11

Большие
концентрации
кристаллов
Вспышка грозовых
наблюдений на
станциях.
Интенсивные
осадки.



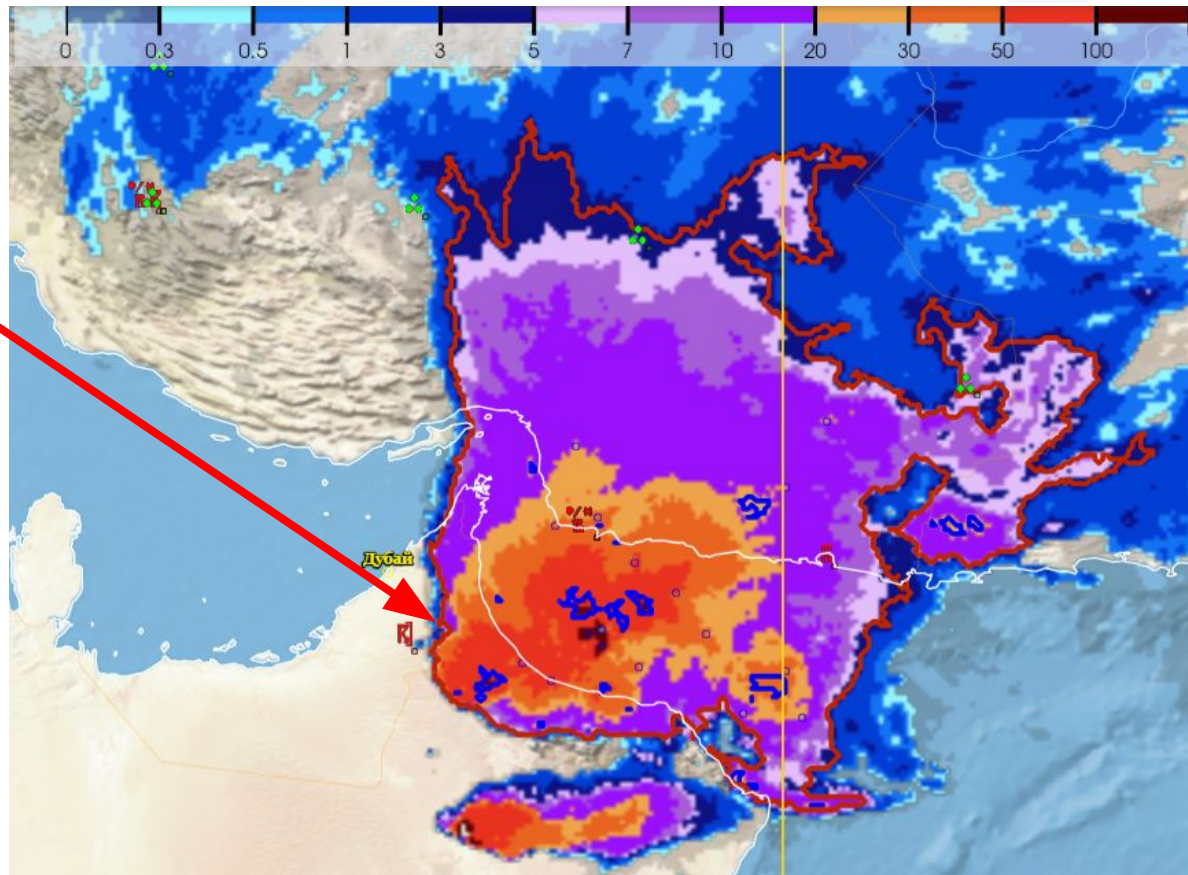
16 апреля 2024г, 15:00 ВСВ, оценка интенсивности осадков по спутниковым данным

Смещение МКК вдоль побережья на ССВ
Интенсивность осадков в среднем 40-50мм/ч и в районе Дубая может достигать градации 50-100 мм/час.



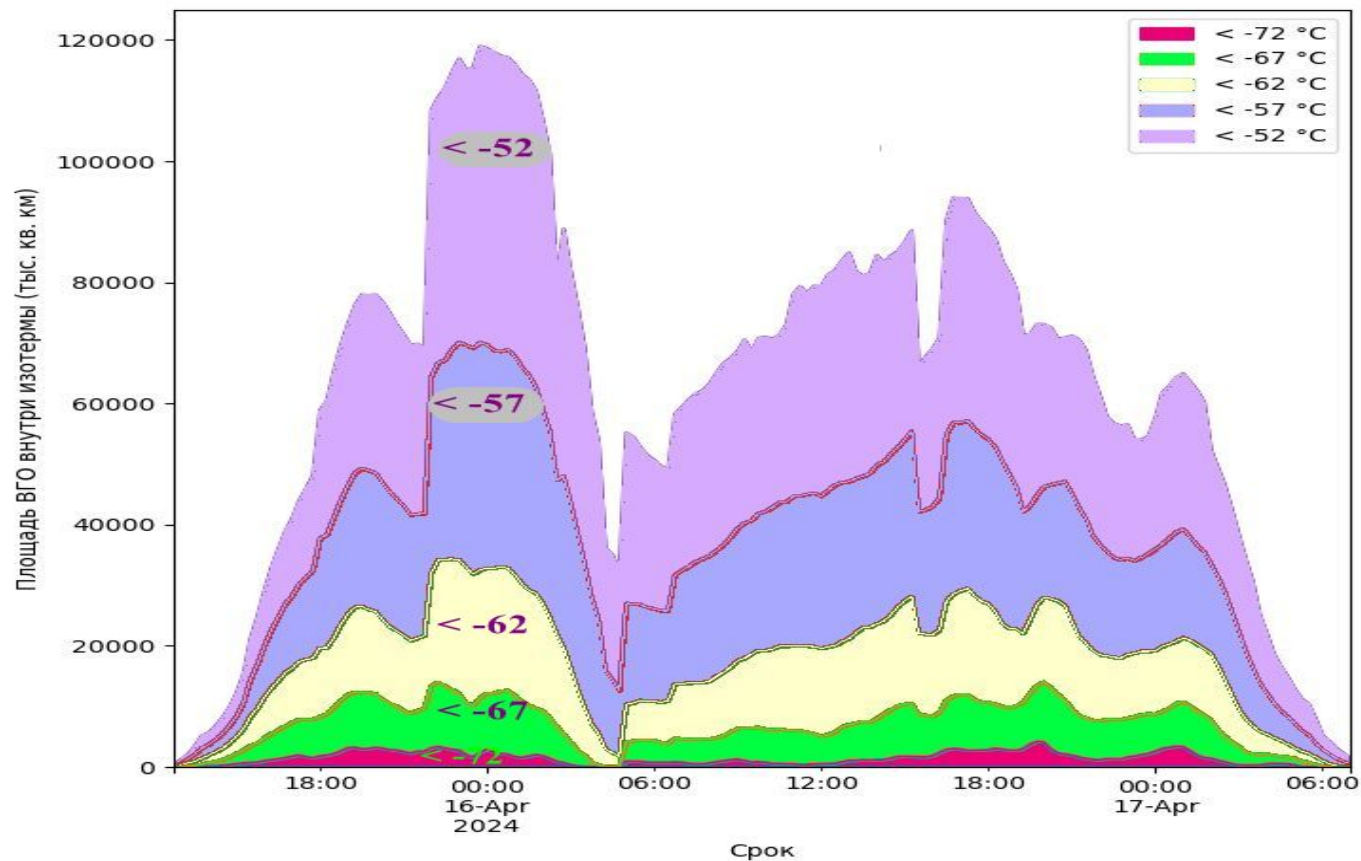
16 апреля, 18:00 ВСВ, оценка интенсивности осадков по спутниковым данным

Зона интенсивных осадков смещается на юго-восток и ослабевает

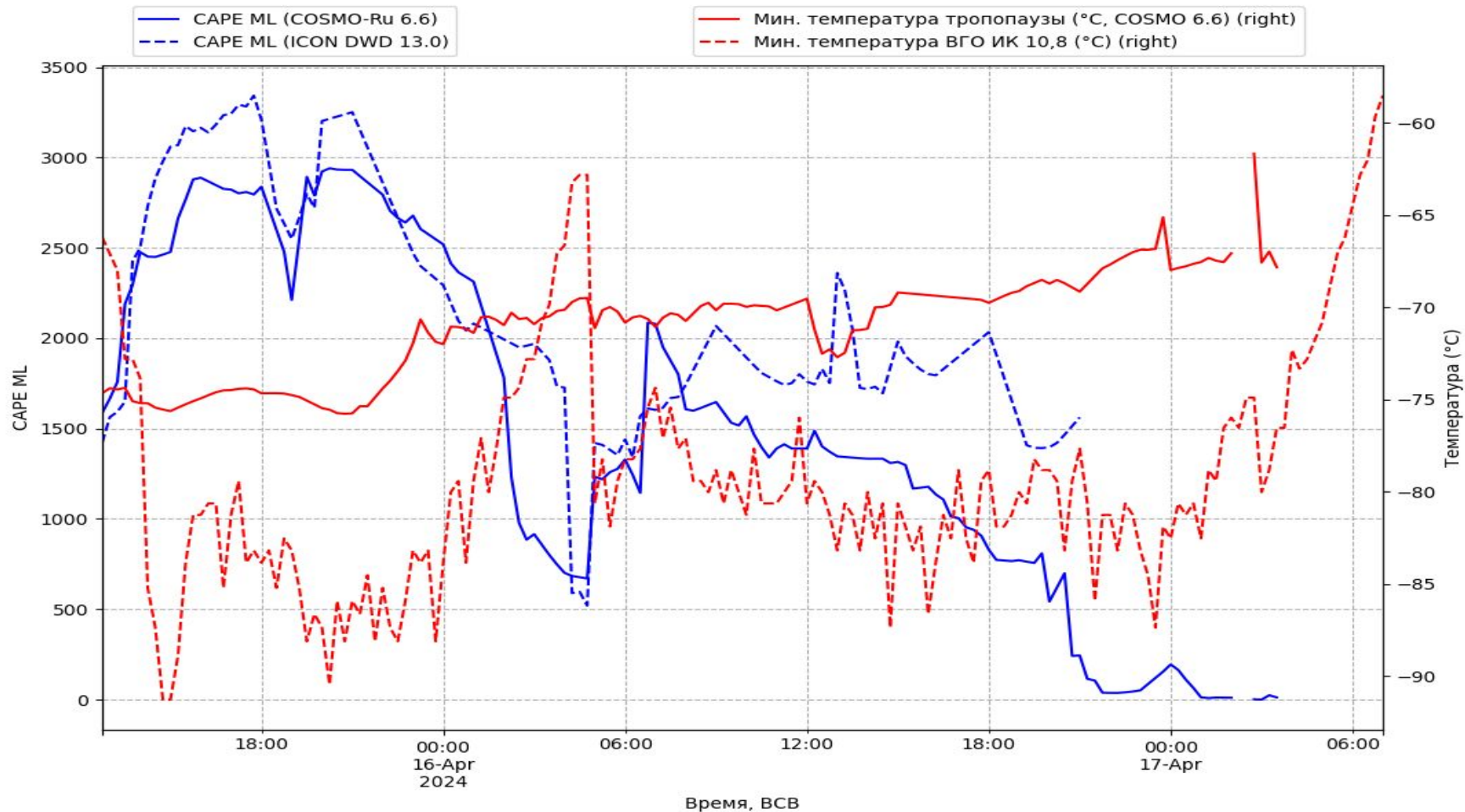


Эволюция МКК над Дубаем (распределение температуры ВГО)

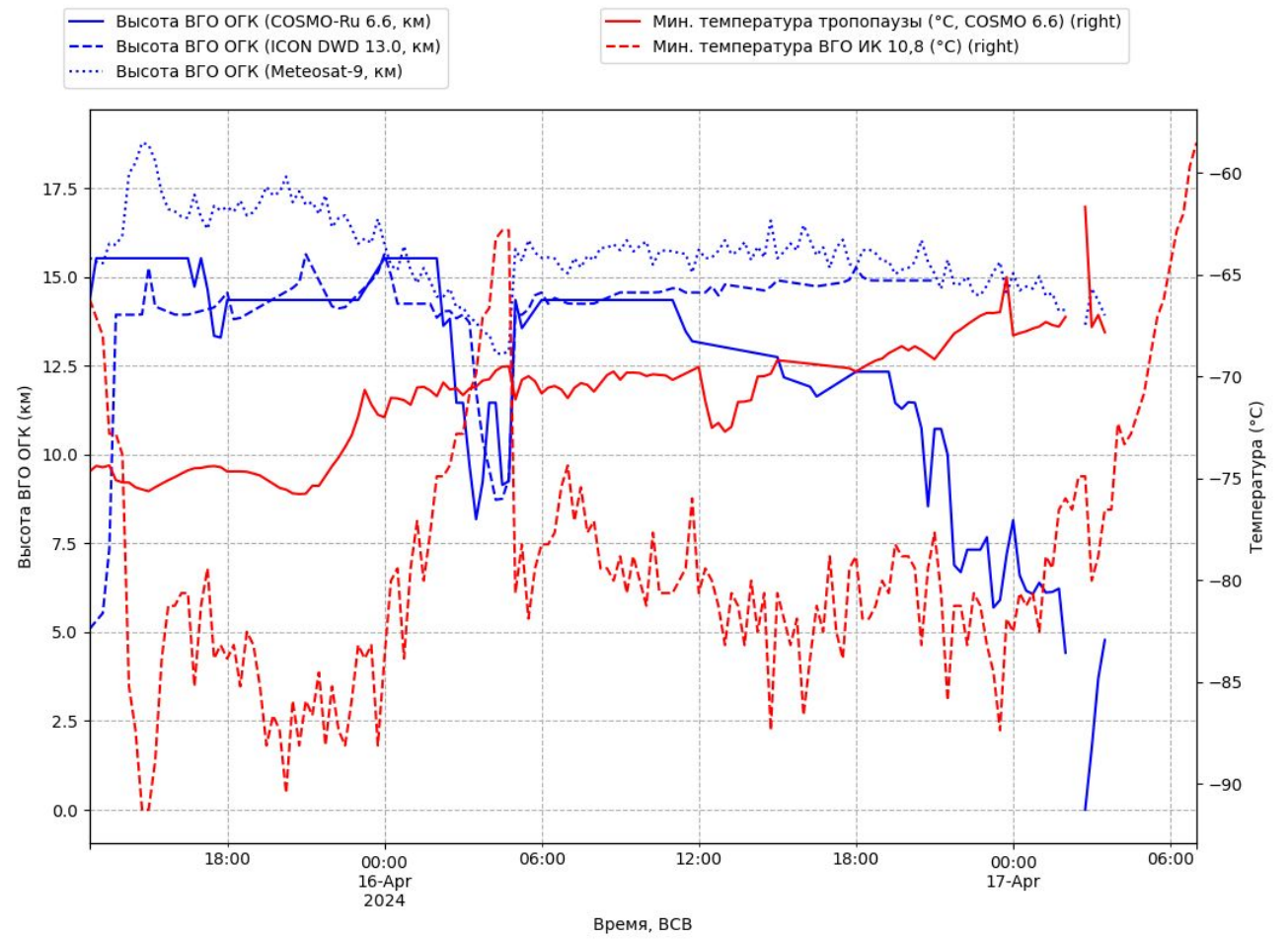
< -62



CAPE ML, температура ВГО (МИСЗ), температура тропопаузы (COSMO 6,6)

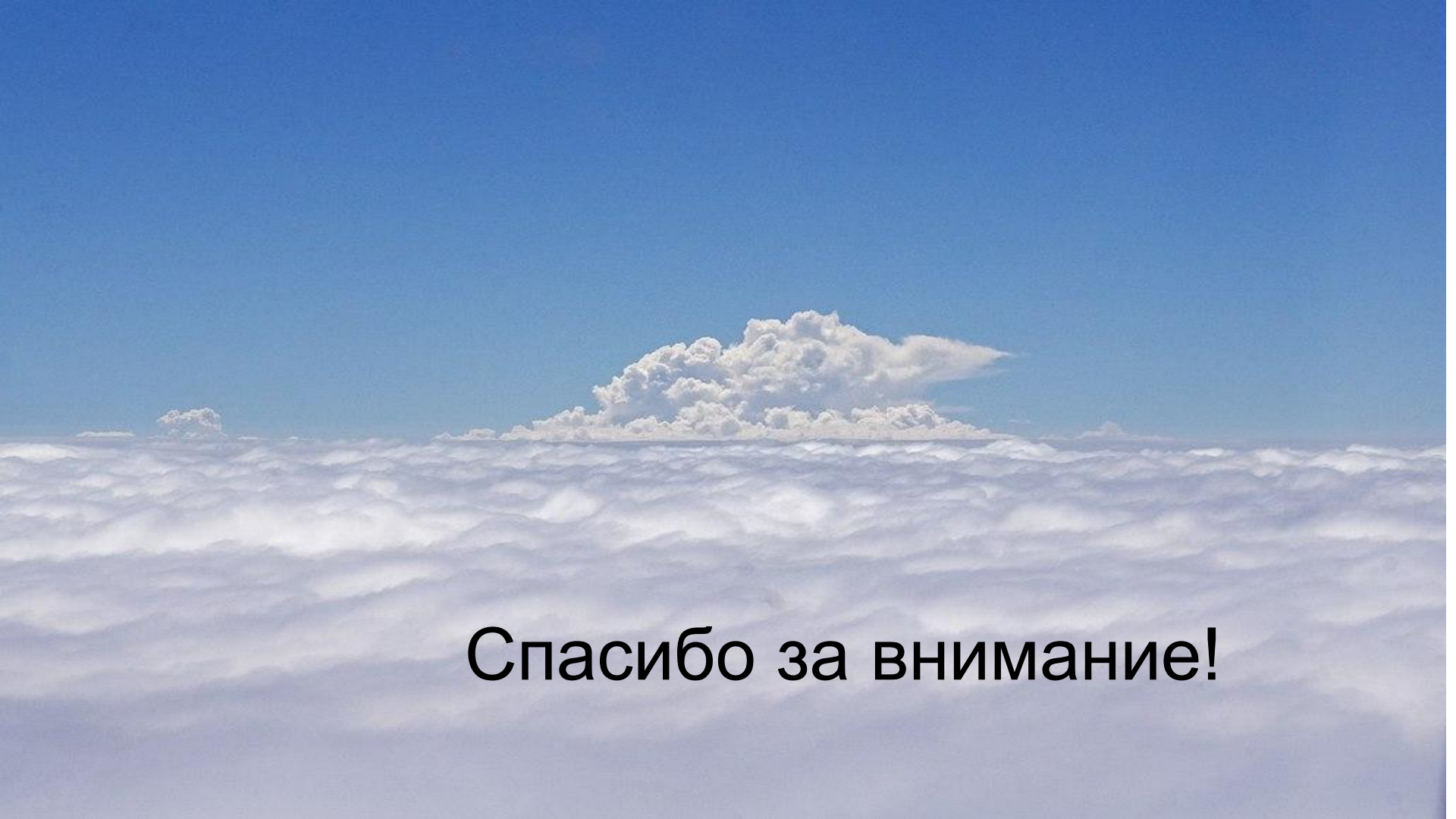


Высота ВГО ОГК , температура ВГО (спутник), температура тропопавзы (COSMO 6,6)



Выводы

1. Применение методов автоматического распознавания эволюции 4-х (ядер) объектов МКС на основе использования методов машинного зрения, градиентного бустинга позволили оценить характеристики аномального выпадения осадков, приведшего к затоплению крупного мегаполиса Дубай.
2. Исследования с помощью СМОГК позволяют оценить в конкретных пунктах в режиме реального времени расхождения и ошибки дистанционных и наземных измерений.
3. Рассчитываемые с помощью метода оптического потока векторы позволяют оценить направление и скорость смещения ОГК в течение ближайшего часа. Разработанный интерактивный веб-интерфейс предоставляет пользователю информацию о траекториях смещения ОГК в удобной для анализе форме.
4. Возможность использования анимаций также демонстрируют преимущества реализованной методики показаны на примере анализа случая развития нескольких быстро и долгоживущих мезомасштабных конвективных комплексов (МКК)



Спасибо за внимание!

Спасибо за внимание!