

Блощинский В.Д., Андреев А.И., Филей А.А.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПОВ ОБЛАЧНОСТИ НА ОСНОВЕ ИЗМЕРЕНИЙ HIMAWARI-9 С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Докладчик: Блощинский Владислав Дмитриевич

Двадцать вторая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»

г. Москва, 11 – 15 ноября 2024

# Введение

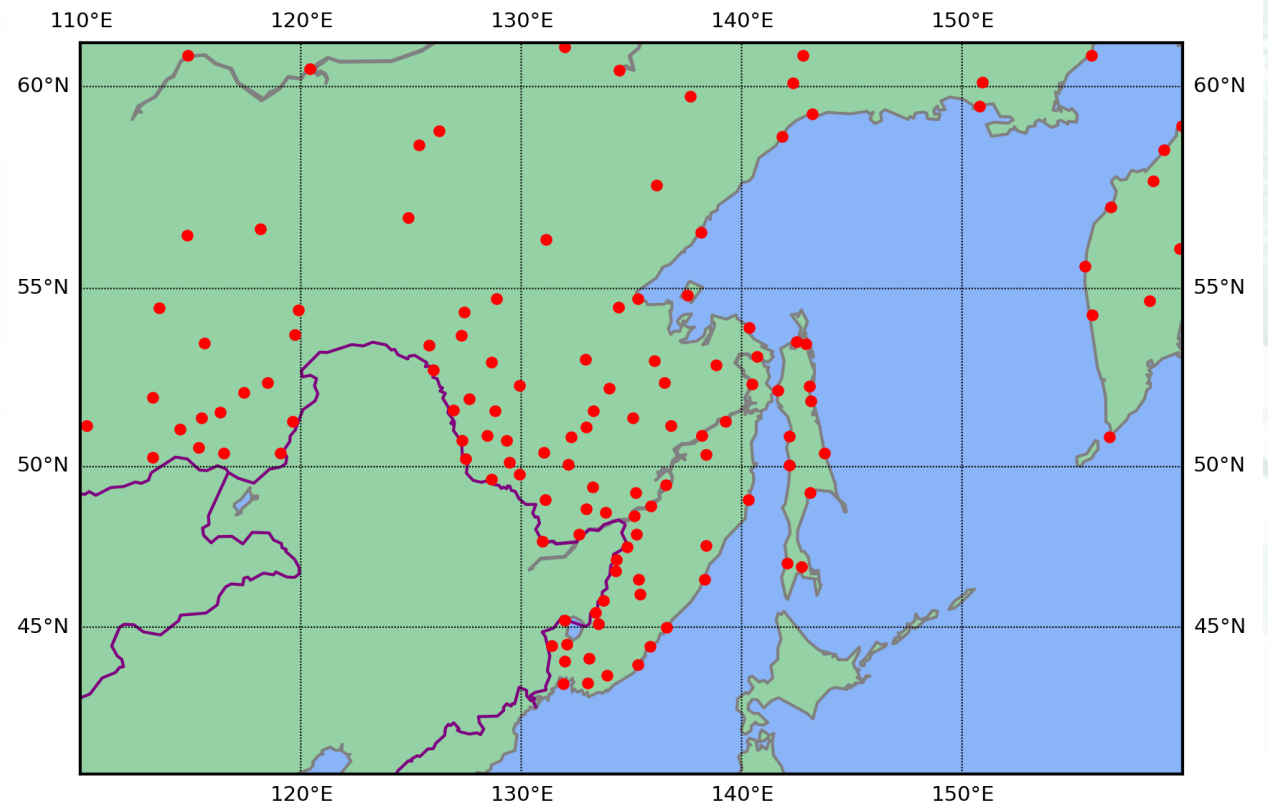
Среди потребителей спутниковой информации одними из наиболее востребованных тематических продуктов являются карты типов облачности.

Данная информация особенно актуальна для мониторинга опасных погодных явлений в труднодоступных районах с редкой сетью наземных наблюдений, позволяя существенно дополнить информацию об облачности.

## Зона покрытия наземных радиолокаторов



## Распределение наземных метеостанций



# Himawari-8/9

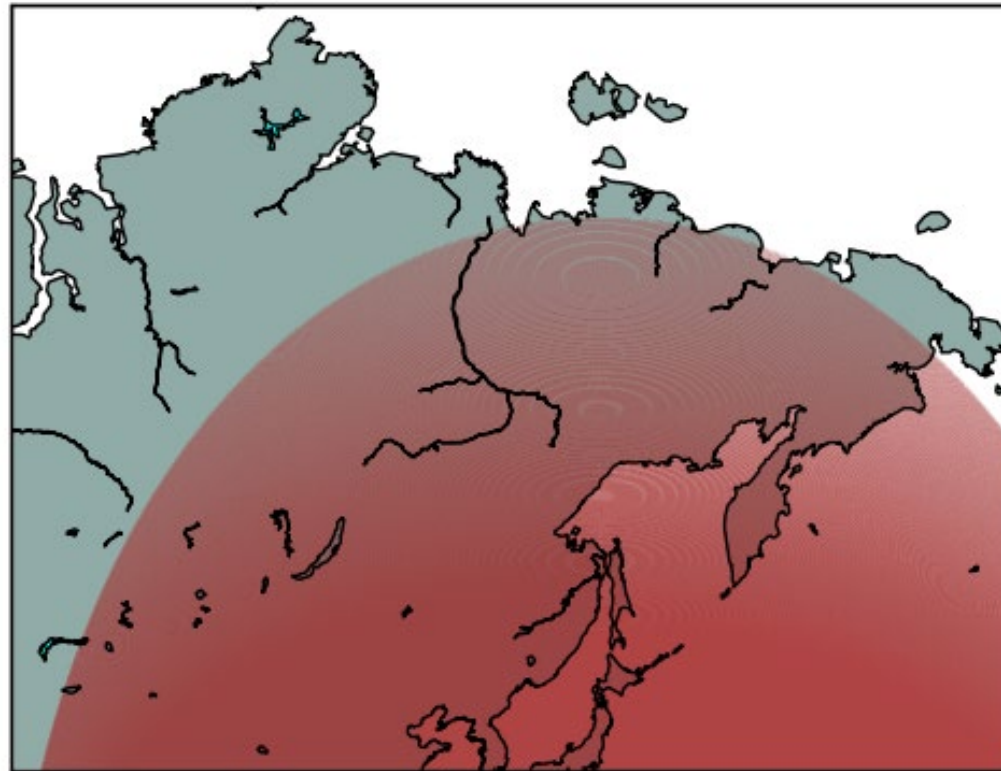
В работе используются измерения спектрорадиометра Advanced Himawari Imager, установленного на геостационарные спутники Himawari-8 и 9.

Минимальное пространственное разрешение: 2 км/пикс. в надире

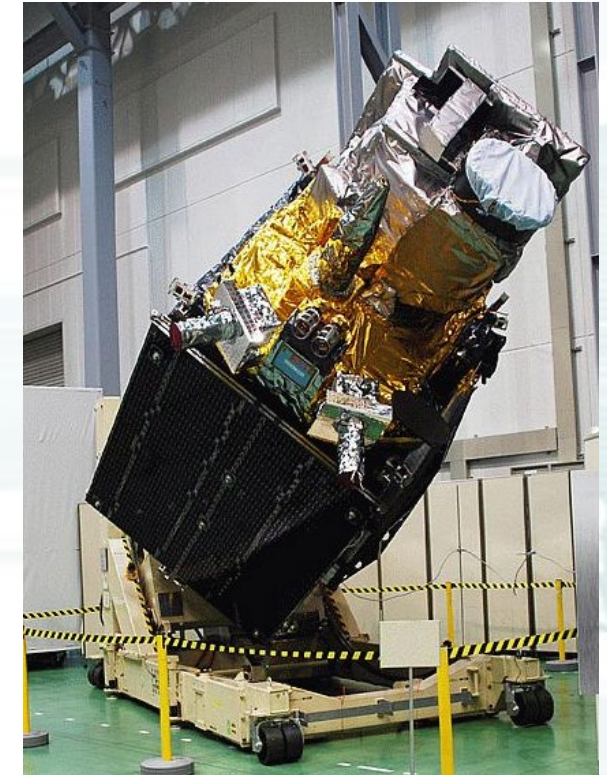
Периодичность съемки: 10 мин.

## Спектральные каналы прибора АИ

№	Центральная длина волны, мкм	№	Центральная длина волны, мкм
1	0.45	9	6.95
2	0.51	10	7.35
3	0.65	11	8.60
4	0.86	12	9.63
5	1.61	13	10.45
6	2.26	14	11.20
7	3.85	15	12.35
8	6.25	16	13.30

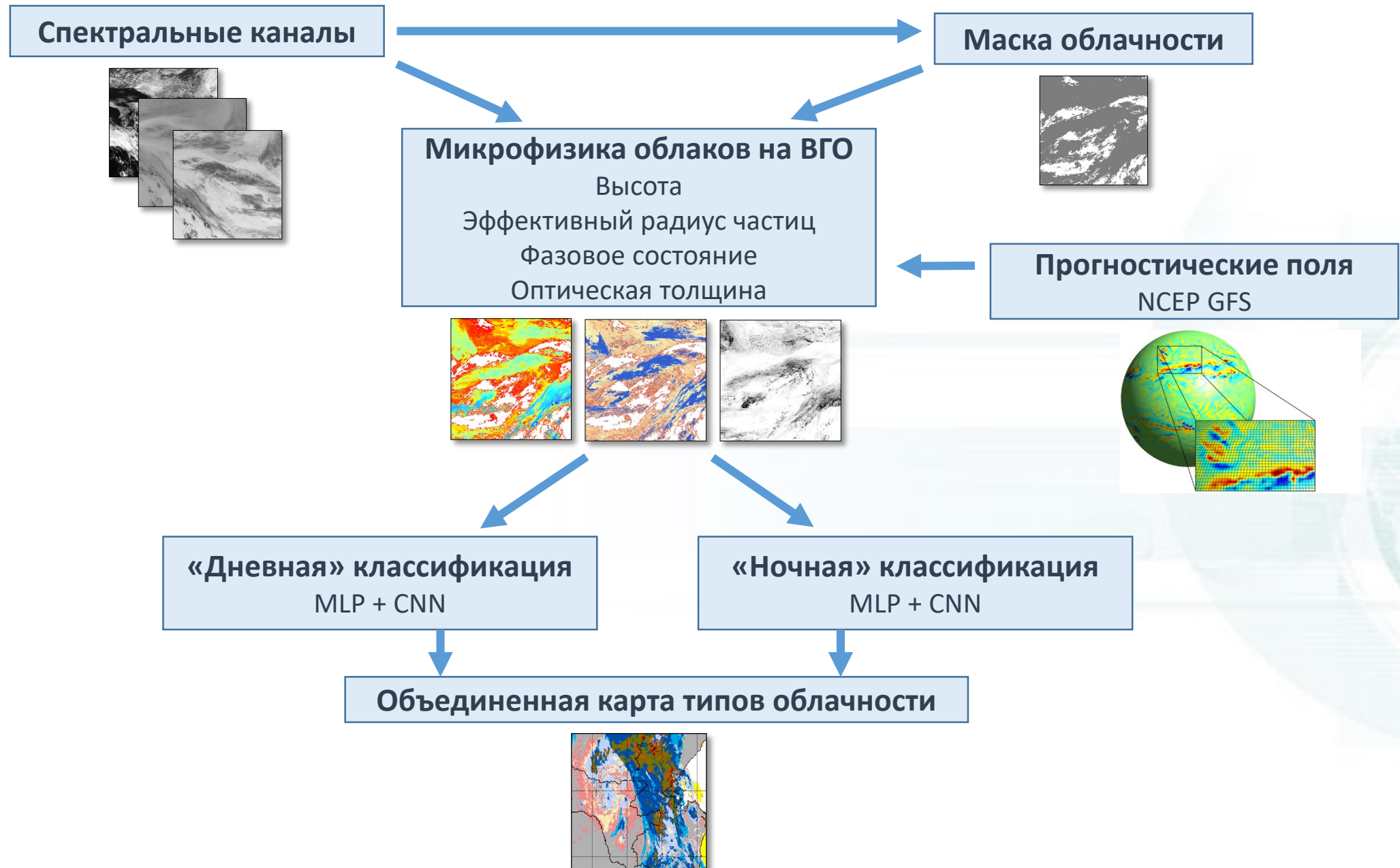


Зона покрытия Himawari-8/9  
(угол визирования <math>< 80^\circ</math>)



Himawari-8

# Блок-схема обработки данных



# Оценка параметров облачности

В качестве основных классификационных признаков в работе рассматриваются микро- и макрофизические параметры облачности. Для возможности классификации в темное время суток при их расчете используются спектральные каналы ИК-диапазона.

Решением обратной задачи уравнения теплопереноса ИК излучения в атмосфере для заданного фазового состояния (ФСО) определяются **высота верхней границы облачности (ВВГО)** и её **инфракрасная оптическая толщина**.

Рассчитав заранее с помощью радиационной модели Libradtran взаимосвязь между **эффективным радиусом частиц** и инфракрасной оптической толщиной, строится аппроксимирующая функция, описывающая эту взаимосвязь. Используя эту функцию и рассчитанную по спутниковым данным оптическую толщину, можно получить эффективный радиус облачных частиц.

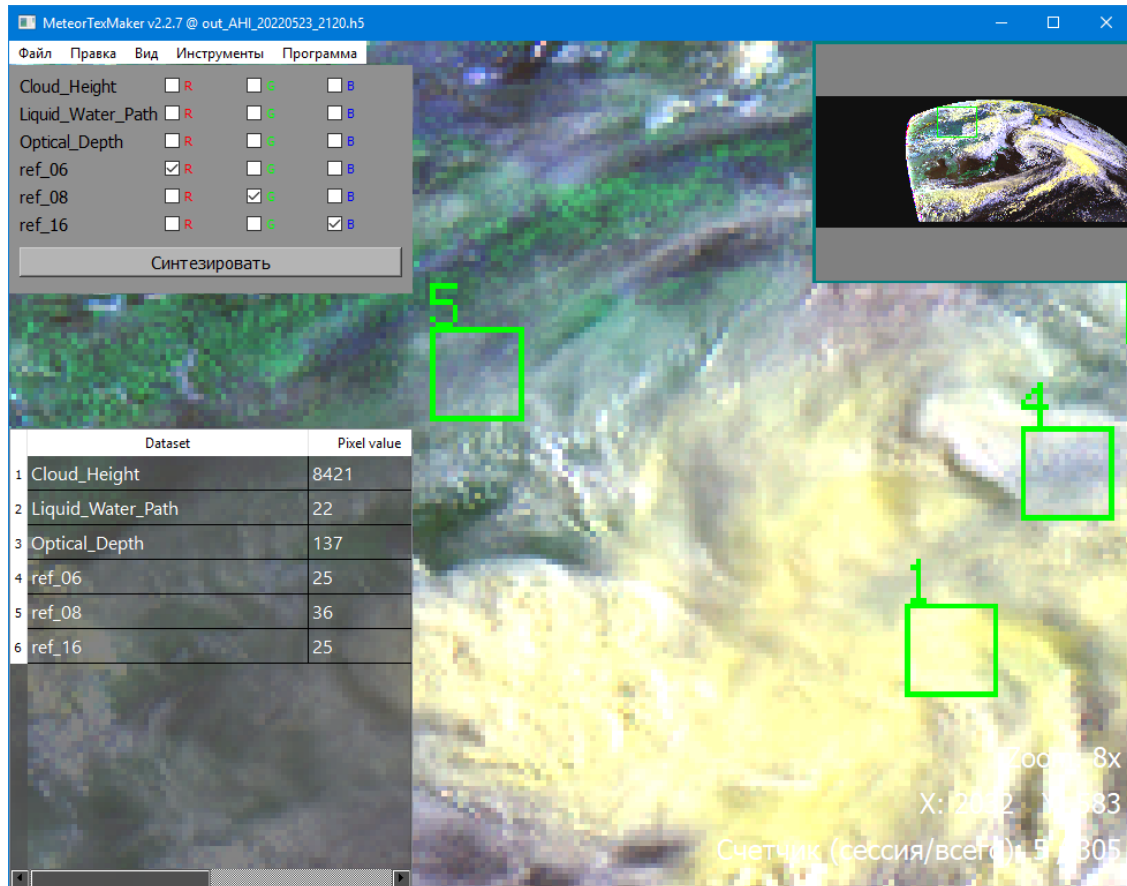
Зная оптическую толщину и эффективный радиус частиц можно оценить **содержание воды (LWP)** и **льда (IWP)** в облаке.



# Обучающая выборка: точки

Для обучения классификаторов были сформированы наборы данных на основе экспертных знаний опытных специалистов-дешифровщиков спутниковой информации с использованием данных Himawari-8/9. Для этой задачи было разработано ПО, позволяющее вручную отметить облачность, присвоив пикселю метку с классом облака.

## ПО для формирования обучающих выборок



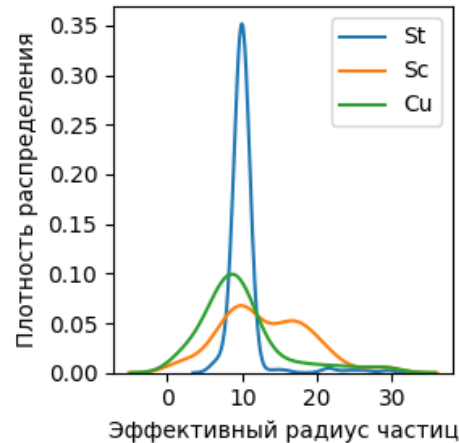
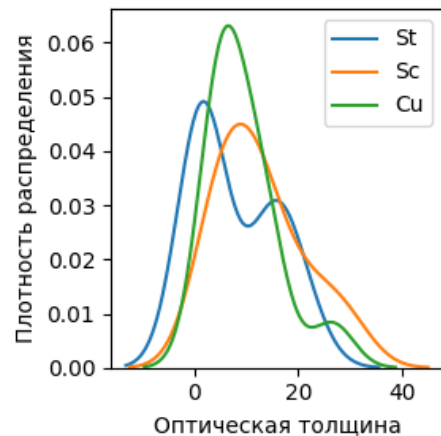
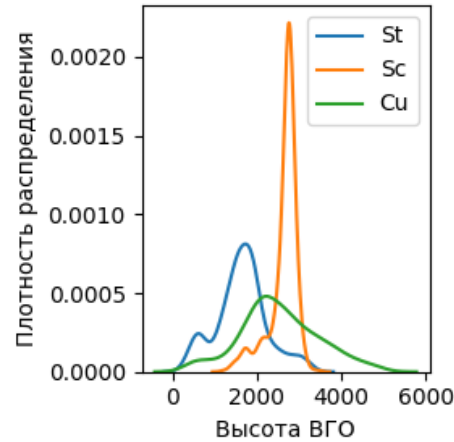
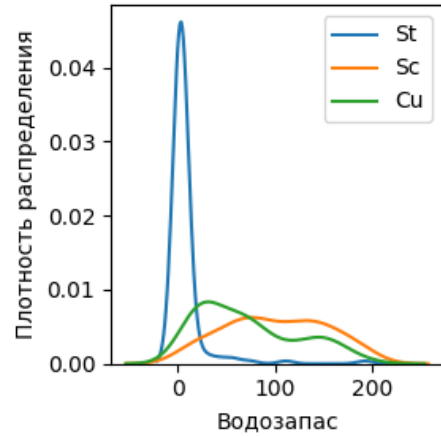
Общий объем выборки составил около 60 тыс. точек и текстурных изображений за различные периоды с 2019 по 2023 гг., включая теплый и холодный сезоны в светлое и темное время суток

Рассматриваются следующие классы облачности:

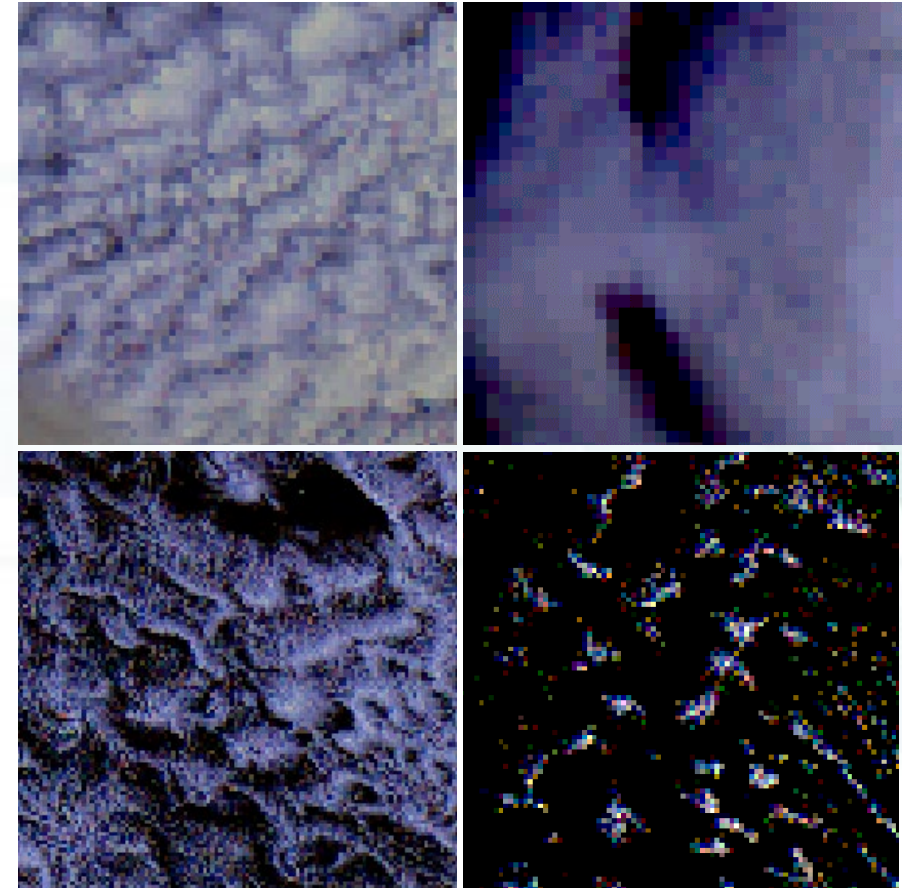
- Слоистая, St
- Слоисто-кучевая, Sc
- Кучевая, Cu
- Кучево-дождевая, Cb
- Кучево-дождевая с наковальней,  $Cb_{inc}$ .
- Фронтальная (с наличием слоисто-дождевой), Fr
- Облачность среднего яруса, Mid
- Перистая, Ci
- Многослойная облачность,  $Ci_{over}$

# Обучающая выборка: текстуры

Помимо отдельных точек, обучающая выборка содержит текстурные изображения размером 5x5 пикселей, предназначенные для классификации слоистых (St), слоисто-кучевых (Sc) и кучевых облаков (Cu), поскольку их макро- и микрофизические характеристики схожи. В то же время данные формы облаков хорошо различимы визуально.



## Примеры изображений облачности St, Sc, Cu



# Алгоритм классификации

## Предикторы

Высота ВГО

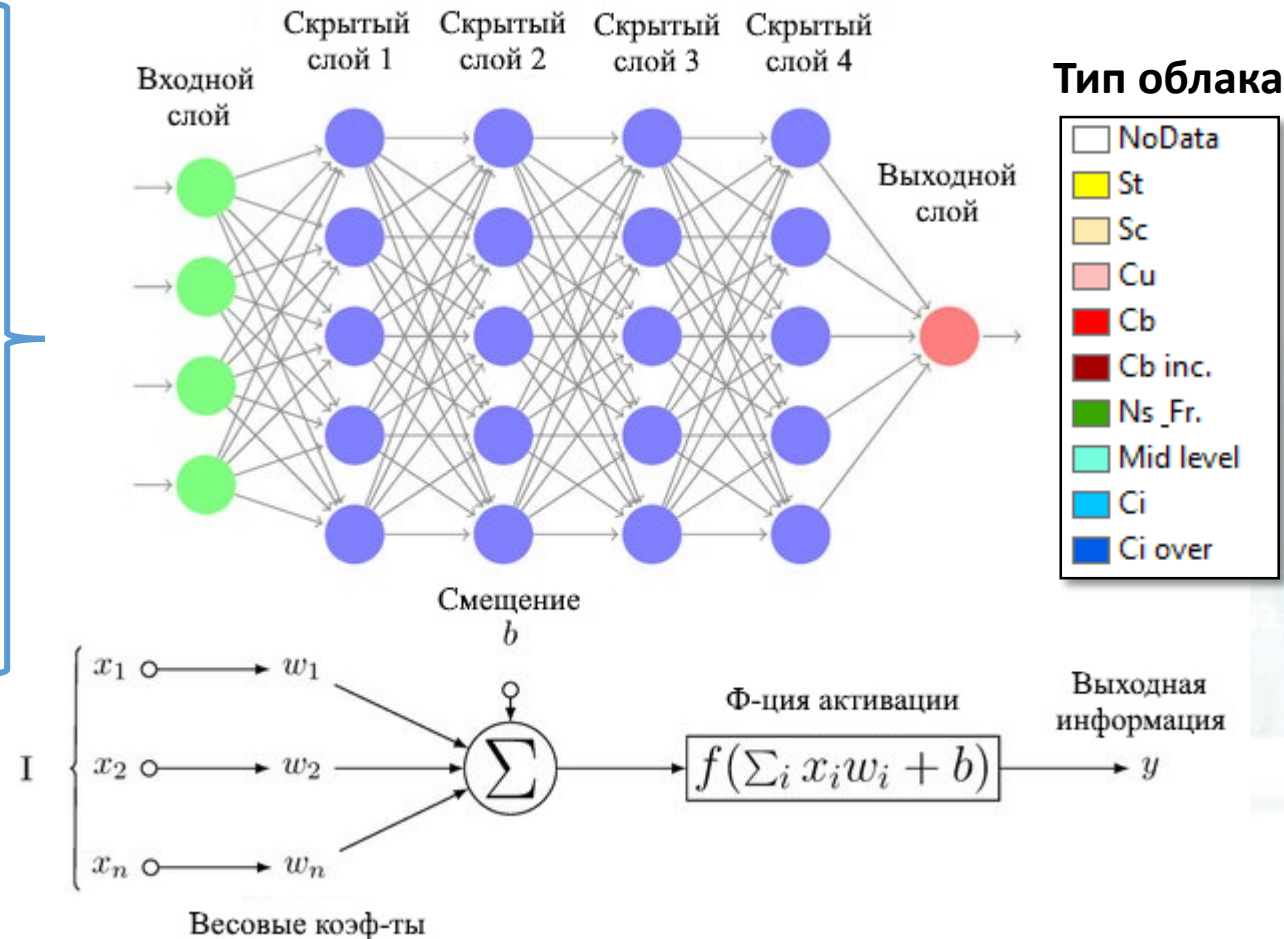
Оптическая толщина

Эффективный радиус частиц

Фазовый состав воды в облаке

LWP/IWP

## Нейросетевой MLP-классификатор



Полносвязная нейронная сеть с 4 скрытыми слоями (32-64-128-256 нейронов)

Выходная функция активации Softmax

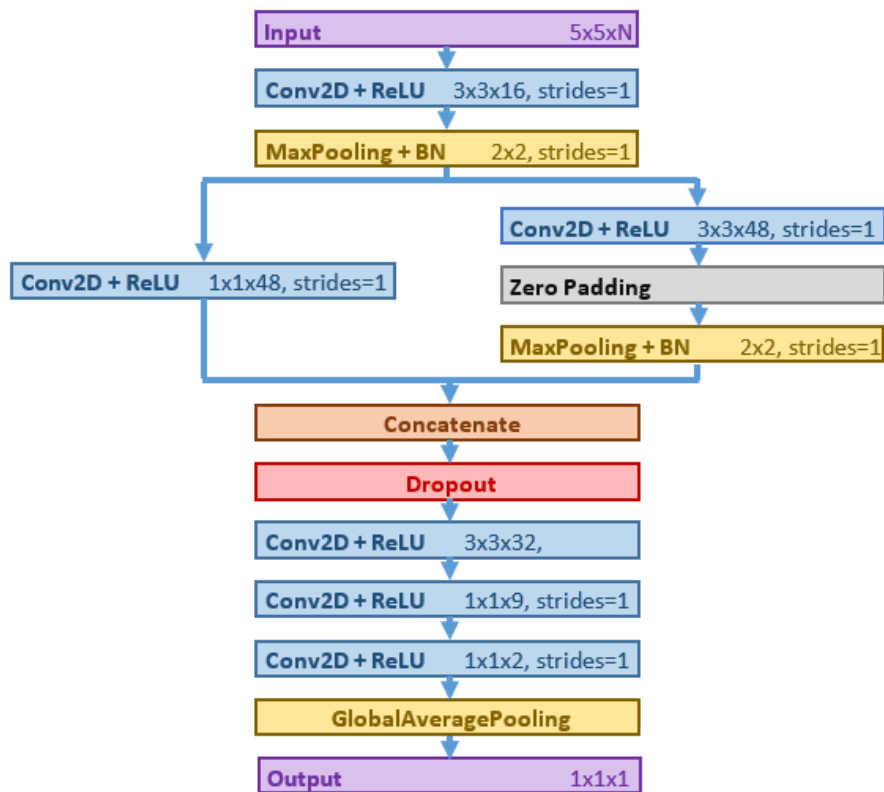
Обучение по методу адаптивного градиентного спуска Adam, минимизируемая функция – кросс-энтропия



# Постобработка

После определения основных типов облачности в дальнейшем осуществляется процедура постобработки с учетом текстурной информации, предназначенная для уточнения типов облачности со схожими спектральными и микрофизическими характеристиками.

## Блок-схема CNN-классификатора



- Input – входное изображение (канал 0,65 или 11,2 мкм);
- Conv2D – операция свертки;
- ReLU – линейная функция активации;
- BN – пакетная нормализация данных;
- MaxPooling – сжатие признаков;
- UpConv2D – обратная свертка;
- Concatenate – объединения тензоров;
- ZeroPadding – дополнения нулями;
- Dropout – метод регуляризации;
- GlobalAveragePooling – усреднение;
- Output – выходная информация.

# Оценка качества

Результаты оценки по данным тестовой выборки

Тип облачности	Точность, %	Полнота, %	F-1 мера, %	Количество точек
Слоистая, St	94	94	94	1339
Слоисто-кучевая, Sc	89	86	87	1303
Кучевая, Cu	84	86	85	1144
Кучево-дождевая, Cb	95	91	93	1434
Кучево-дождевая с наковальней, Cb <sub>inc</sub>	98	99	98	1079
Фронтальная (с наличием слоисто-дождевой), Fr	92	92	92	1470
Облачность среднего яруса, Mid	94	95	95	1420
Перистая, Ci	96	95	96	1276
Многослойная облачность, Ci <sub>over</sub>	88	91	89	1486

Результаты оценки точности по данным телеграмм METAR из аэропортов

Общая точность определения кучево-дождевой облачности	Точность определения без учета многослойной облачности
72 %	95 %



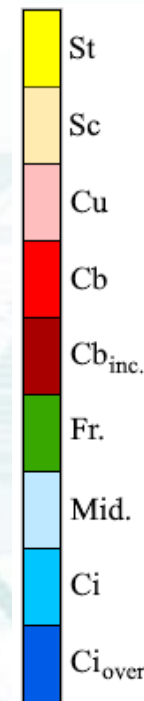
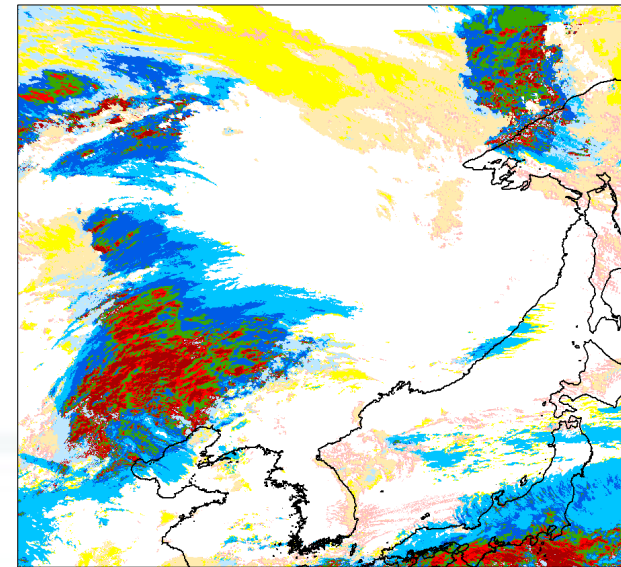
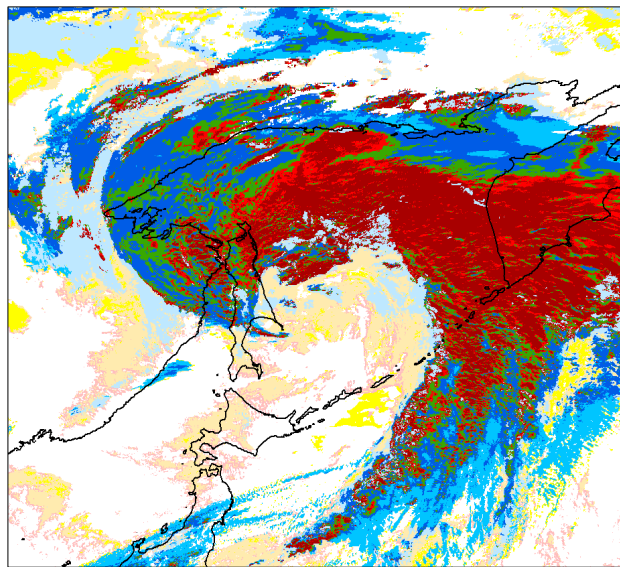
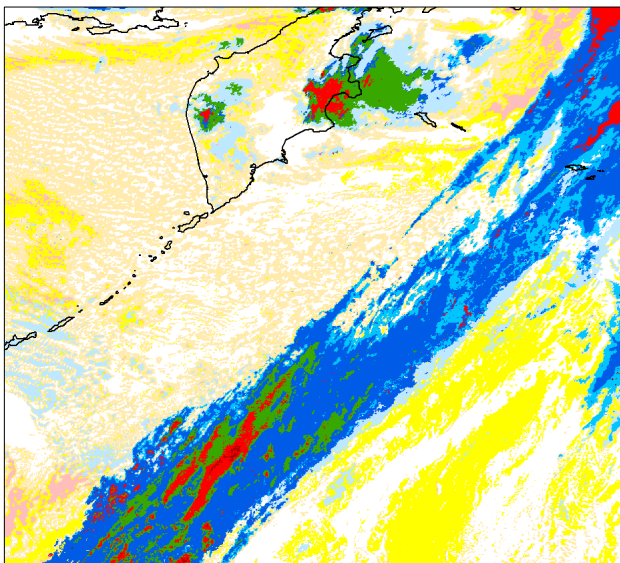
# Примеры карт

20-10-2024 14:00 UTC

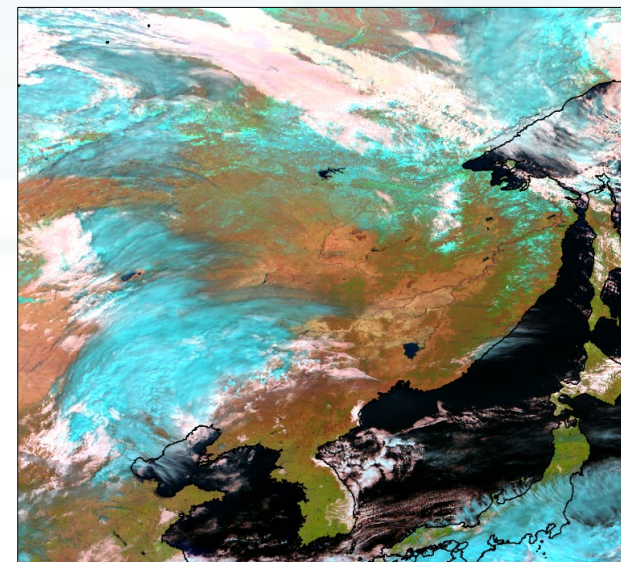
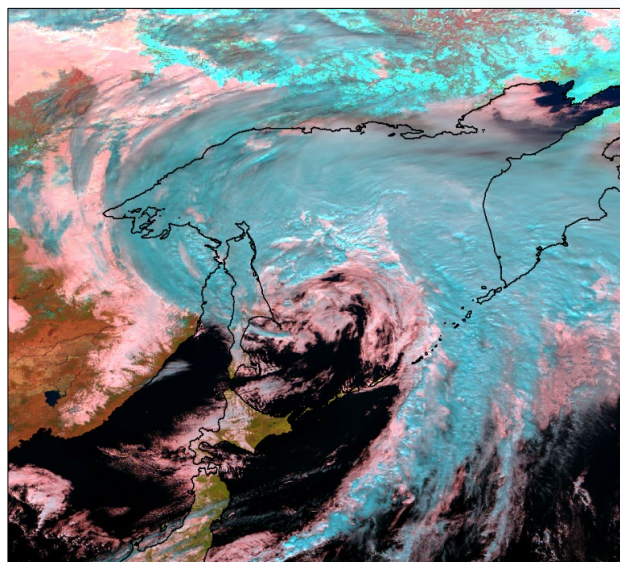
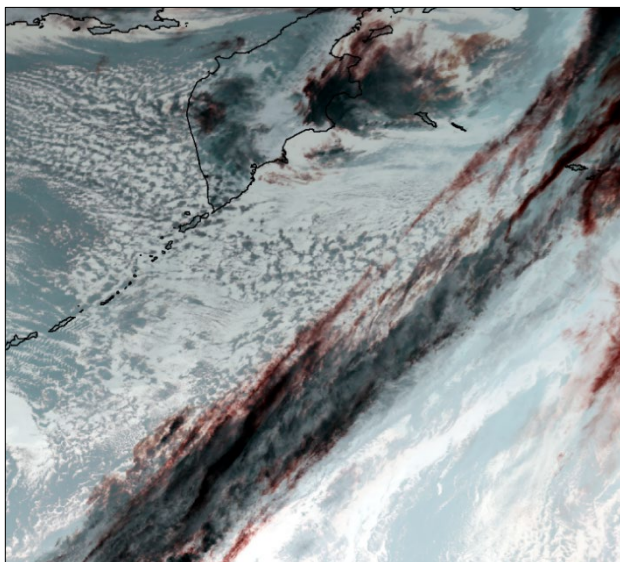
24-10-2024 02:00 UTC

26-10-2024 02:00 UTC

Типы облачности



RGB синтез каналов



(R: 3.75, G: 11.2, B: 12.4 мкм)

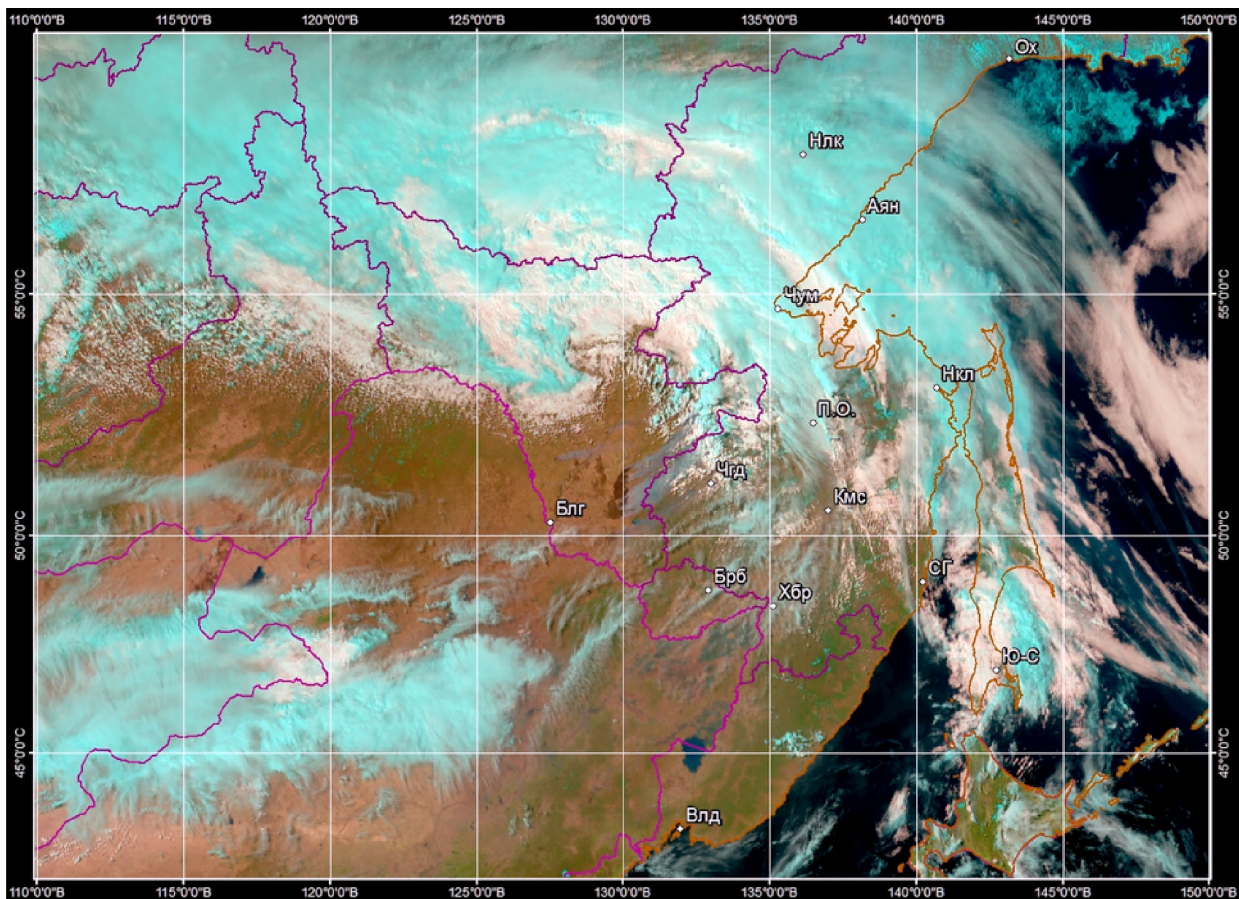
(R: 0.64, G: 0.86, B: 1.6 мкм)

(R: 0.64, G: 0.86, B: 1.6 мкм)

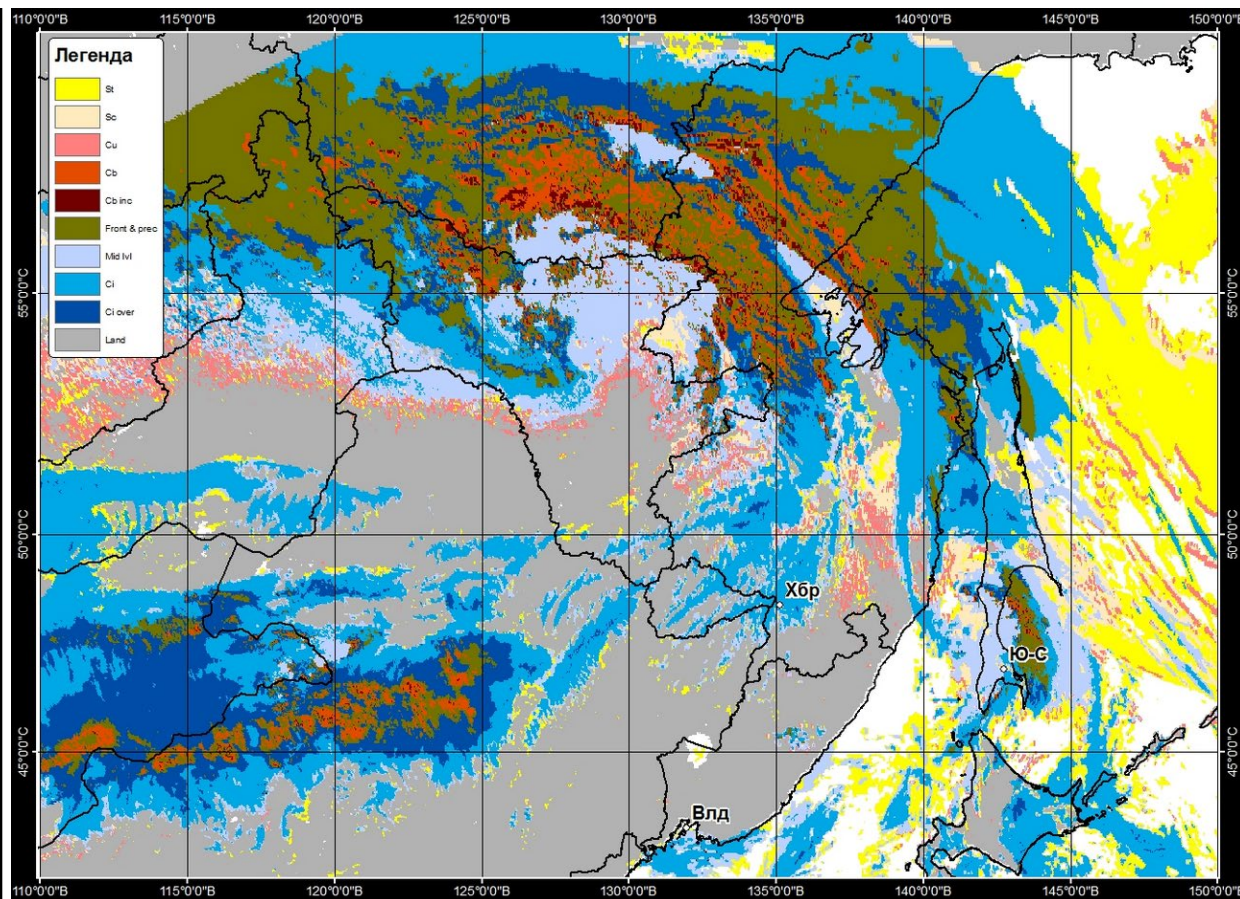


# Система реального времени «Himawari»

RGB синтез каналов  
(R: 0.64, G: 0.86, B: 1.6 мкм)



Пример карты типов облачности по  
данным КА Himawari-9





# Заключение

- Разработан комбинированный алгоритм для классификации типов облачности, использующий микро- и макрофизические, а также текстурные характеристики облаков;
- В основе алгоритма используются полносвязные (MLP) и сверточные (CNN) нейронные сети; MLP позволяет достичь большей детализации карт (особенно при распознавании кучево-дождевых форм облаков), CNN эффективны для детектирования слоистых и кучевых форм;
- Тот или иной классификатор применяется в зависимости от освещенности Солнцем рассматриваемой территории, а также для конкретных типов облаков;
- Разделение на дневной и ночной алгоритм необходимо, поскольку информация о микрофизических характеристиках, рассчитанная на основе каналов видимого спектрального диапазона, является более детализированной. Это связано с тем, что чувствительность ИК каналов к этим характеристикам ниже, ввиду их физических ограничений;
- Аналогичные работы в настоящее время проводятся для космических аппаратов серий «Электро-Л» и «Арктика-М».



**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ**

Дальневосточный центр ФГБУ «НИЦ «Планета»  
Россия, г. Хабаровск, ул. Ленина, д. 18  
тел.: +7-(4212) 21-43-11  
факс: +7-(4212) 21-40-07  
e-mail: niokr@dvrpod.ru  
<https://www.dvrpod.ru>