



**Федеральное государственное бюджетное учреждение
Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской
Федерации**

Повышение эффективности детектирования облачности глубокой конвекции на основе машинного обучения и информации о молниевых разрядах по данным учащенных измерений двух геостационарных МИСЗ, и модельных индексов конвективной неустойчивости

XXIII Конференция “Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса”

**Шишов Андрей Евгеньевич
Горлач Ирина Андреевна**

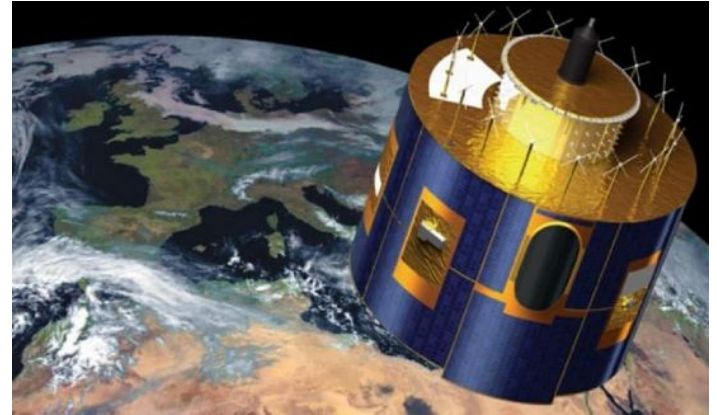
Москва, 10-14 ноября 2025 г.

- Опасные конвективные явления (штормы, грозы, ливни, шквалы) характеризуются высокой пространственно-временной изменчивостью.
 - Их диагноз и прогнозирование остается сложной метеорологической задачей.
-
- Использование новых учащенных спутниковых данных и выходных гидродинамических моделей с применением методов машинного обучения позволило повысить качество распознавания с учетом:
 - Учащенных измерений с геостационарных спутников (каждые 5 мин).
 - Информации о молниевых разрядах нового МИСЗ (Meteosat-12).
 - Выходных полей гидродинамических моделей (ICON-Ru).
 - Методов машинного обучения для обработки и анализа комплексного набора данных.



ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ

- **Цель:** Разработка метода автоматического детектирования облаков глубокой конвекции (ОГК) с грозами на основе учащенных спутниковых данных и полей численной модели.
- **Задачи:**
 - **Сформировать выборку данных:** спутниковые снимки (Meteosat-11) и поля модели ICON-Ru.
 - **Выделить «облачные объекты»** — кластеры пикселей с температурой ниже -45°C .
 - **Сопоставить объекты с данными о молниевых разрядах** (Meteosat-12) для верификации.
 - **Построить и обучить модели машинного обучения (градиентный бустинг)** для классификации «ОГК» / «не ОГК».
 - **Оценить вклад предикторов в зависимости от стадии** (возраста) жизненного цикла ОГК.



ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Период исследования:

9 дней с наиболее активной конвекцией **весной-летом 2025 г.**

(10-11 мая, 12-14 июля, 20-21 июля, 1-2, 4 августа).

Рассматриваемая территория:

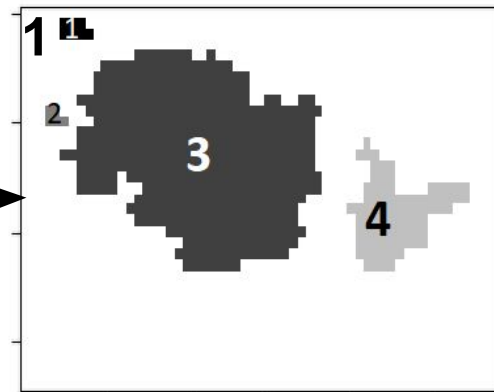
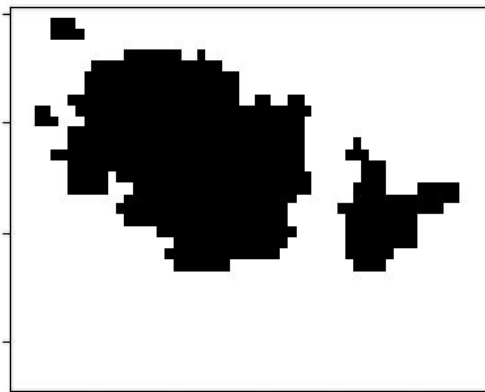
40-65° с.ш., 0-61° в.д.

Источник	Разрешение	Шаг по времени	Цель
Meteosat-11 (SEVIRI)	~4-6 км	5 мин	Распознавание облачности, оценка параметров ВГО
Модель ЧПП ICON-Ru 6.6 ENA	~6,6 км	1 час	Оценка метеорологических условий
Прибор Lightning Imager (LI) спутника MTG	~4,5 км	30 мс	Разметка выборки для обучения ML-моделей, верификация

МЕТОДИКА АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ОГК

Этап 1. Выделение маски наличия облачности ОГК и масок объектов

Критерий отнесения к ОГК	Интерпретация
Температура ВГО ¹ < 225 К	Характерный диапазон для температуры ВГО ОГК.
Диаметр ² ≥ 20 км	Явления мезо-масштаба (мезо-α, мезо-β)



Выделение маски ОГК

(0,1 – присвоение каждому пикселю значение

Нет ОГК или Есть ОГК)

Выделение масок объектов

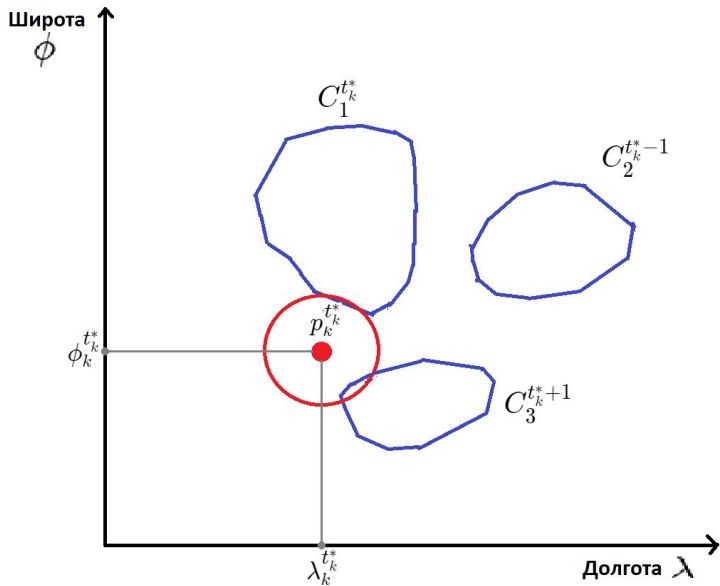
(номера объектов - 1,2,...К
– объединение в группы пикселей)

¹По измерениям MSG SEVIRI в диапазоне ИК 10,8

²Длина большей оси описывающего эллипса.

**Всего
детектировано:
99 618 объектов**

Выбор радиуса влияния



Пусть известны:

- координаты молниевое разряда: $p_k = (\lambda_k, \phi_k)$
- погрешность по пространству: ϵ_1
- погрешность по времени: ϵ_2
- контур n-го объекта в момент времени t: C_n^t

Тогда для каждого k-го молниевое разряда находим ближайший ОГК с учётом погрешности по времени и пространству.

Объектно-ориентированный метод оценки распознавания

Вероятность детектирования
 $POD = TP / (TP + FN)$

Доля ложных тревог
 $FAR = FP / (TN + FP)$

		База данных гроз	
		Нет гроз	Есть грозы
Результат автоматического распознавания	Диагноз	Нет объекта ОГК	Есть объект ОГК
		TN	FN
		FP	TP

МЕТОДИКА АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ОГК

Этап 2. УТОЧНЕНИЕ ПОРОГОВЫХ МЕТОДОВ С ПОМОЩЬЮ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Предикторы (X)

рассчитываются по

- 1) измерениям MSG SEVIRI в ИК-диапазоне;
- 2) **выходным полям модели ICON-Ru 6.6 ENA**

Целевая переменная (y)

рассчитывается по измерениям

MTG Lightning Imager (LI)

1. Параметры распределения температуры ВГО за текущий срок (t).
2. Параметры формы ВГО за текущий срок (t).
3. Изменение параметров распределения температуры ВГО **за 5 мин** и в среднем **за 30, 60 мин**.
4. Изменение параметров формы ВГО **за 5 мин** и в среднем **за 30, 60 мин**.
5. **Индексы CAPE, CIN, температура на уровне 2М, температура тропопаузы в районе ВГО.**

**Факт наблюдения гроз
в пределах 20 км от выделенного
контура ОГК
в течение следующего часа**

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.

НАБОРЫ ПРЕДИКТОРОВ

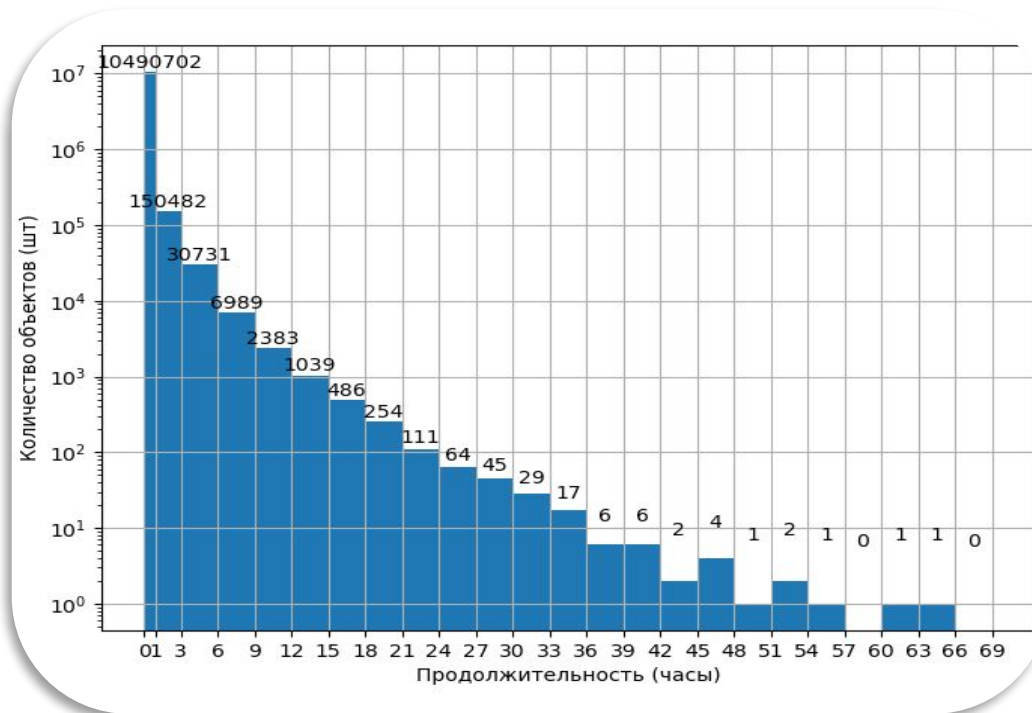
Название набора	Описание	Число предикторов
1. Спутниковая информация в срок наблюдения	Морфологические и статистические характеристики ВГО по спутниковым данным в текущий момент времени: форма, размер, текстура и распределение температуры в основных каналах	53
2. Данные ЧПП ICON-Ru ENA 6.6 в срок наблюдения	1.Поля ЧПП на уровне 2М: температура, точка росы в контуре ВГО. 2.Индексы неустойчивости (CAPE ML, CAPE CON, CIN ML)	22
3. Спутниковая информация с учётом предыдущих сроков (т.е. с динамикой)	Набор “Спутниковая информация в срок наблюдения” + Параметры эволюции облака: скорость изменения площади, температуры и других свойств за временные интервалы	208
4. Спутниковая информация и данные ЧПП в срок наблюдения	Набор “Спутниковая информация в срок наблюдения” + Набор “Данные ЧПП ICON-Ru ENA 6.6 в срок наблюдения” +комбинации полей ЧПП и полей радиационной температуры	115
5. Спутниковая информация и данные ЧПП с учётом предыдущих сроков (т.е. с динамикой)	Набор “Спутниковая информация с учётом предыдущих сроков” + Набор “Данные ЧПП ICON-Ru ENA 6.6 в срок наблюдения” +комбинации полей ЧПП и полей радиационной температуры	348

Анализ условно выделенных групп ОГК по продолжительности жизни

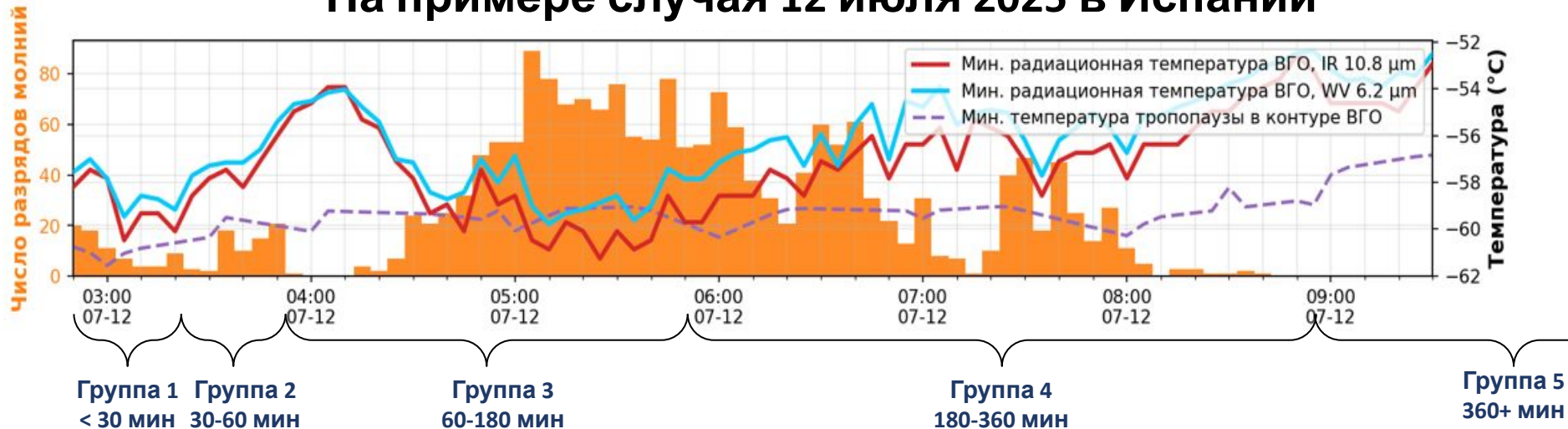
Выделено 5 групп объектов в зависимости от возраста на момент наблюдения:

1. < 30 мин
2. 30-60 мин
3. 60-180 мин
4. 180-360 мин
5. 360+ мин

По мере развития объект может перейти в следующую группу или распасться.



На примере случая 12 июля 2025 в Испании



ВЛИЯНИЕ НАБОРА ПРЕДИКТОРОВ НА КАЧЕСТВО РАСПОЗНАВАНИЯ (FAR)

Набор предикторов	Группа ОГК				
	1. < 30 мин	2. 30-60 мин	3. 60-180 мин	4. 180-360 мин	5. > 360 мин
1. Спутниковая информация в срок наблюдения	44.44%	32.05%	27.51%	28.02%	6.29%
2. Данные ЧПП ICON-Ru ENA 6.6 в срок наблюдения	27.46%	29.36%	29.49%	29.26%	4.29%
3. Спутниковая информация с учётом предыдущих сроков	43.98%	31.49%	27.23%	31.01%	6.62%
4. Спутниковая информация и данные ЧПП в срок наблюдения	10.65%	23.30%	20.79%	28.08%	6.62%
5. Спутниковая информация и данные ЧПП с учётом предыдущих сроков	9.98%	24.13%	21.55%	28.02%	6.62%

POD = 95%

ВЛИЯНИЕ НАБОРА ПРЕДИКТОРОВ НА КАЧЕСТВО РАСПОЗНАВАНИЯ (FAR)

Набор предикторов	Группа ОГК				
	1. < 30 мин	2. 30-60 мин	3. 60-180 мин	4. 180-360 мин	5. > 360 мин
1. Спутниковая информация в срок наблюдения	44.65%	31.79%	28.96%	30.99%	16.67%
2. Данные ЧПП ICON-Ru ENA 6.6 в срок наблюдения	16.40%	20.00%	22.26%	26.00%	7.54%
3. Спутниковая информация с учётом предыдущих сроков	45.89%	31.33%	25.37%	23.84%	13.02%
4. Спутниковая информация и данные ЧПП в срок наблюдения	9.66%	15.88%	17.62%	22.28%	10.22%
5. Спутниковая информация и данные ЧПП с учётом предыдущих сроков	10.13%	17.69%	15.17%	19.75%	9.80%

POD = 95%

5 НАИБОЛЕЕ ИНФОРМАТИВНЫХ ПРЕДИКТОРОВ

1. < 30 мин	2. 30-60 мин	3. 60-180 мин	4. 180-360 мин	5. > 360 мин
<ol style="list-style-type: none"> 1. Мин. температура тропопаузы (К) 2. Макс. CIN ML (Дж/кг) 3. Макс. CAPE ML (Дж/кг) 4. Макс. CAPE CON(Дж/кг) 5. Макс. дефицит точки росы на уровне 2М (К) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Макс. CIN ML (Дж/кг) 2. Макс. CAPE ML (Дж/кг) 3. Макс. дефицит точки росы на уровне 2М (К) 4. Мин. температура тропопаузы (К) 5. Макс. CAPE CON (Дж/кг) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Макс. CIN ML (Дж/кг) 2. Макс. CAPE ML (Дж/кг) 3. Макс. дефицит точки росы на уровне 2М (К) 4. Мин. точка росы на уровне 2М (К) 5. Макс. разность температур ИК 6.2 - ИК 7.3 (К) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Макс. разность температур ИК 6.2 - ИК 7.3 (К) с начала наблюдений 2. Мин. температура (К) в канале ИК 6.2 с начала наблюдений 3. Макс. CIN ML (Дж/кг) 4. Макс. CAPE ML (Дж/кг) 5. Мин. температура (К) в канале ИК 6.2 с начала наблюдений 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Макс. CAPE ML (Дж/кг) 2. Макс. разность температур ИК 6.2 - ИК 7.3 (К) с начала наблюдений 3. Максимальная скорость роста доли ВГО с температурой от 220 до 225 К в канале ИК 12,0 мкм за последний час 4. Максимальная скорость роста доли ВГО с температурой от 220 до 225 К в канале ИК 6,2 мкм за последний час 5. Мин. температура в канале ИК 7 за весь период (К)

ВЫВОДЫ

1. Разработан метод автоматического детектирования облаков глубокой конвекции (ОГК), сочетающий учащенные данные спутника «Meteosat-11», а также индексы неустойчивости, поля температуры и точки росы по модели ICON-Ru 6.6 ENA.
2. Метод показал значительную зависимость информативности предикторов и итогового качества распознавания от “возраста” конвективного облака.
3. Для ОГК “возрастом” до 30 минут (начальной стадии) комплексация спутниковой информации и полей ЧПП позволяет существенно улучшить качество распознавания (FAR ~10%) по сравнению с использованием только спутниковых данных (FAR ~44%).
4. Для ОГК “возрастом” от 30 минут до 6 часов качество детектирования ниже (19-28% в зависимости от группы). Наилучших результатов удаётся добиться при комплексации спутниковой информации и полей ЧПП.
5. Для зрелых ОГК (“возрастом” от 6 часов) метод демонстрирует преимущественно высокую эффективность (FAR ~4%) при использовании полей ЧПП и сопоставимую эффективность (FAR ~6%) при использовании спутниковой информации. Как правило, это МКК с высокой вероятностью гроз.

1. Расширение исходной базы учащённых данных об ОГК с информацией о молниевых разрядах.
2. Изучение зон с высокой интенсивностью молниевых разрядов (как особо интенсивных ОГК).
3. Использование данных доплеровских радаров.

Спасибо за внимание!



16