Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета»

Валидация спутникового диагноза грозовой активности по наземным данным метеорологических наблюдений и грозопеленгации в Европейском регионе

Докладчик: Горлова Илона Дмитриевна

Авторы: Е.В. Волкова, А. П. Влас, И.Д. Горлова

Двадцать четвертая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»
9-13 ноября 2026 г., г. Москва

Актуальность

- Грозовая активность возникает в мощных **кучево-дождевых облаках** с большим водозапасом и кристаллами на верхней границе облачности.
- Грозы часто сопровождаются **неблагоприятными** и **опасными явлениями погоды** (ливневые осадки, град, шквалистые усиления ветра), а также представляют опасность **удары молний**, что может привести к повреждениям и возгораниям наземных объектов (повреждение линий электропередач, возгорание леса), поражению людей и животных.
- Территория Россия **недостаточно** охвачена наземным мониторингом гроз

- Информация о вероятности и интенсивности гроз **по спутниковым данным** является очень важной для своевременного выпуска штормовых оповещений и предупреждений.



Цель работы

Цель работы - провести сравнение диагноза зон гроз, выполненного тремя спутниковыми методиками (по данным МСУ-ГС КА «Арктика-М» и SEVIRI КА Meteosat-9) между собой и с данными наземных наблюдений на метеорологических станциях и измерений грозопеленгационной системы (ГПС) для Европейского региона за тёплые периоды 2024-2026 гг.

Работа является продолжением предыдущих работ авторов:

Волкова Е.В. Обнаружение зон гроз по спутниковым данным // Материалы 18й Всероссийской открытой конференции с международным участием "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса", 16-20 ноября 2020 г., ИКИ РАН, Москва, 2020. С. 143. doi 10.21046/18DZZconf-2020a. ISBN 978-5-00015-052-8.

Волкова Е.В., Влас А.П. Сравнение мониторинга гроз по спутниковым, наземным метеорологическим и грозопеленгационным наблюдениям для Европейской части России // Сборник трудов Международного Симпозиума «Атмосферная радиация и динамика» (МСАРД-2025), Санкт-Петербург, 23-26 июня 2025 г., Санкт-Петербург: ООО «Издательство ВВМ», 270 стр., с. 11-16, ISBN 978-5-9651-1639-3.

Новизна работы:

- ✓ проведено сравнение на архиве данных спутниковых зон гроз, грозопеленгационной системы и метеонаблюдений за теплые периоды 2025-2026 гг.
- ✓ продолжена оценка качества диагноза зон гроз по данным МСУ-ГС КА «Арктика-М» (методика «ARKTIKAncep»);
- ✓ сделана оценка качества диагноза зон гроз по данным SEVIRI КА Meteosat-9 (2 варианта методики с использованием численного прогноза погоды моделей Exeter («SEVIRIexeter») и NCEP GFS(«SEVIRIncep»));
- ✓ проведено попарное сравнение трёх спутниковых методик.

Спутниковые данные: зоны гроз по спутниковым данным

В ФГБУ «НИЦ Планета» (ЕЦ) разработан алгоритм круглосуточного оперативного обнаружения зон гроз по спутниковым данным с использованием комплексной пороговой методики по косвенным признакам с использованием данных численного прогноза погоды.

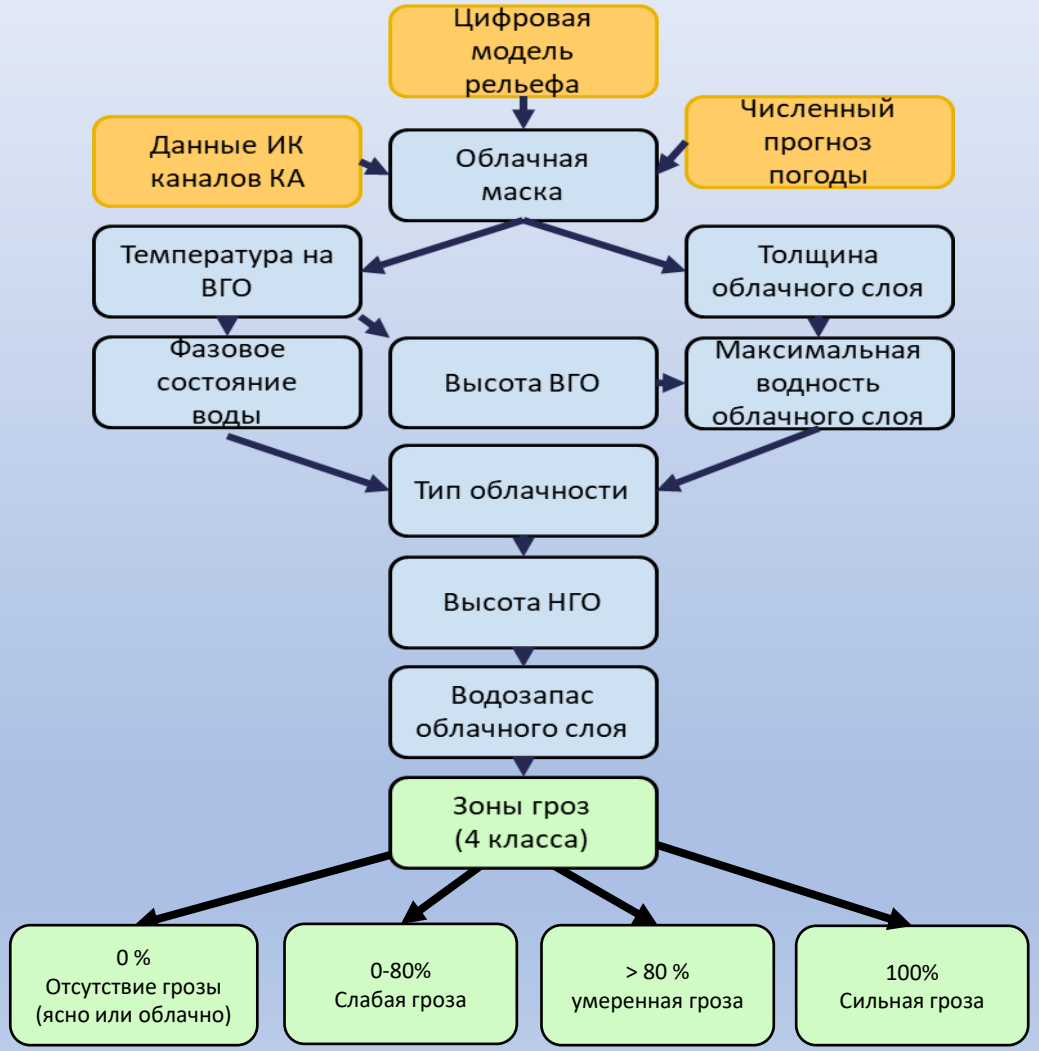
На его основе оперативно работают технологии мониторинга зон гроз по данным МСУ-ГС КА Арктика-М №1 и №2 (АПК «ARKTIKAncep») и SEVIRI КА Meteosat-9 (АПК «SEVIRIexeter» и АПК «SEVIRIncep»):

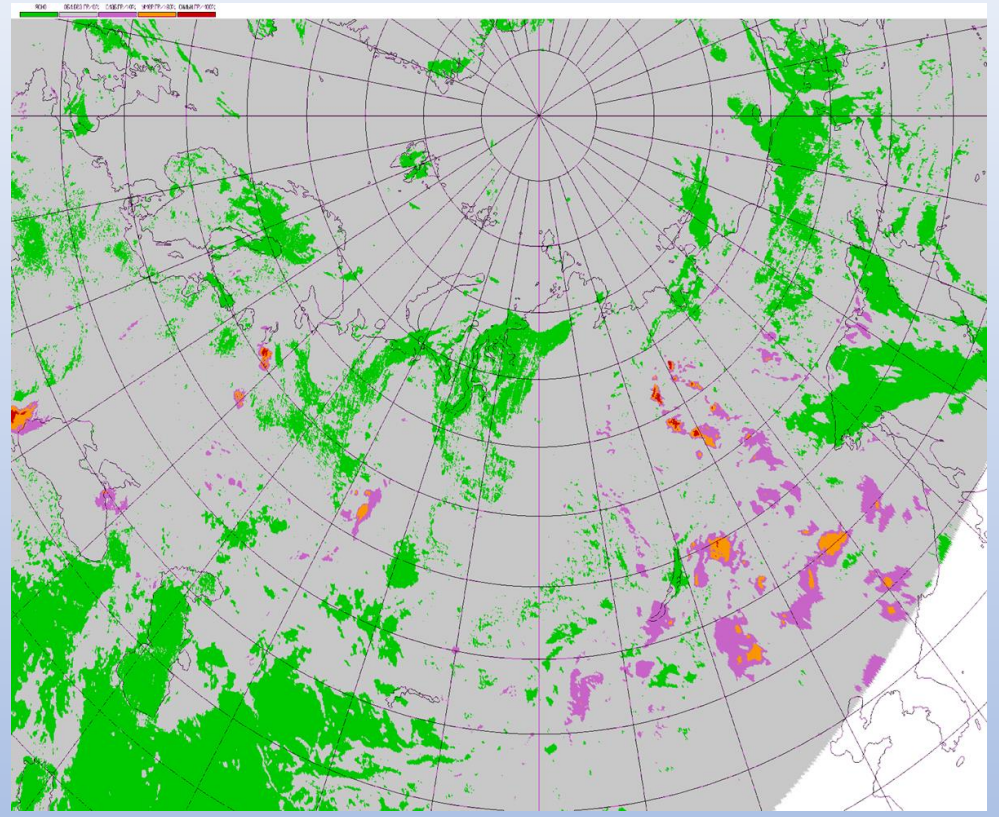
Спутниковый прибор/КА (условное обозначение)	**Данные прогноза погоды**	**Предикторные характеристики**	**Пороговые значения зависят от**
SEVIRI/Meteosat-9 (SEVnc)	NCEP GFS (разрешение 0,5°, 6 ч)	hail, W_{max}, SW, $T_{ВГО}$, $h_{ВГО}$, T_{108}, $(T_{7,3}-T_{6,2})$, $(T_{8,7}-T_{9,7})$	h_o, h_{ref}, $Ta_{ур.моря}$, Ta_{300}, Ta_{250}
SEVIRI/Meteosat-9 (SEVex)	Exeter (разрешение 2,5°, 12 ч)	W_{max}, SW, $T_{ВГО}$, $h_{ВГО}$, T_{108}, $(T_{10,8}-T_{12,0})$, $(T_{12,0}-T_{8,7})$, $(T_{7,3}-T_{6,2})$, $(T_{8,7}-T_{9,7})$, $(A_{0,6}-A_{1,6})$	h_o, ϕ, h_{ref}, $Ta_{ур.моря}$, Ta_{300}, Ta_{250}, $Ta_{300-250}$,
МСУ-ГС-ВЭ/Арктика-М №1,2 (ARKnc)	NCEP GFS (разрешение 0,5°, 6 ч)	hail, W_{max}, SW, $(T_{9,7}-T_{8,7})$, dHcl, $T_{10,7}$, $(T_{6,4}-T_{8,0})$	$Ta_{ур.моря}$, lat

где T_{nn} – радиационная температура в каналах с длинами волн nn, A_{nn} – альбедо в каналах с длинами волн nn, Ta_{ppp} – температура воздуха на барическом уровне ppp гПа, $Ta_{ppp1-ppp2}$ – температура воздуха на барическом уровне посередине между ppp1 и ppp2 гПа, h_o – высота солнца над горизонтом, lat – географическая широта, h_{ref} – высота места над уровнем моря, W_{max} – максимальная водность облака, SW – водозапас облака, dHcl – толщина облака.

Спутниковые данные: зоны гроз по спутниковым данным

Технологическая схема работы комплексной пороговой методики





Карта вероятности и интенсивности гроз по данным КА «Арктика-М» 19.08.2026 16:00 ВСВ

цвет	*название класса*	*вероятность*
	ясно	0%
	облачно без грозы	0%
	слабая гроза	>0 %
	умеренная гроза	>80 %
	сильная гроза	100%

Наземные данные: наблюдения на метеорологических станциях

На метеорологических станциях наблюдательной сети Росгидромета ведутся визуально-слуховые наблюдения за грозами. Наблюдения производятся в стандартные метеорологические сроки (каждые 3 ч).

Наблюдатель фиксирует факт наличия грозы на метеостанции или в окрестности (радиусом до 20-30 км) в срок наблюдения, в последний час и между сроками.

В работе использовался архив наблюдений за погодой в срок наблюдения и в последний час, а также между сроками в коде КН-01 из базы данных Гидрометцентра России.



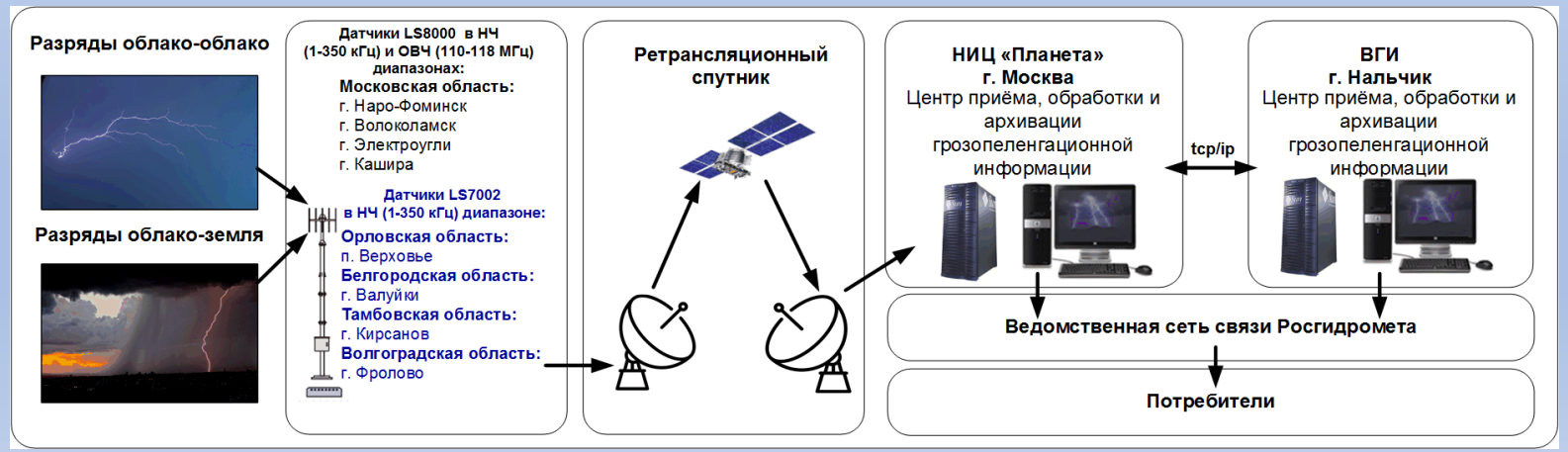
Наземные данные: измерения грозопеленгационной системы

Объединенная грозопеленгационная система ФГБУ «НИЦ «Планета» и ФГБУ «ВГИ» (Росгидромет) в Европейском регионе на основе датчиков Vaisala регистрирует в непрерывном режиме характеристики разрядов и вспышек молний:

- дата и время;
- координаты;
- тип (облако-земля или облако-облако);
- токовые характеристики (сила тока и др.);
- ошибка определения местоположения.

Точность местоопределения молний: от 250 м до 20 км

Вероятность обнаружения молний: от 90 % до < 30 %





Преимущества и недостатки разных видов мониторинга гроз

Вид мониторинга	**+**	**-**
Спутниковый диагноз зон гроз (геостационарная или высокоэллитическая орбита)	✓ площадные наблюдения; ✓ удобны для визуального мониторинга и показывают целое облако (можно оценить размер зоны грозы, её тип (фронтальная или внутримассовая) и интенсивность); ✓ высокая периодичность наблюдений (от 15 мин).	✓ диагноз по косвенным признакам, результаты зависят от методики; ✓ смещение грозового облака (до 20-40 км) при больших углах визирования; ✓ потеря небольших грозовых облаков на краях зоны обзора прибора; ✓ разрешение от ~4 км в надире до ~20 км на краях обзора.
Грозопеленгационная система	✓ прямые непрерывные наблюдения; ✓ точные дата, время и координаты молний; ✓ высокая точность и вероятность обнаружения молний в центре сети (до 250 м и до 90 %); ✓ большой охват (до 750 км вокруг каждого датчика).	✓ снижение точности местоопределения и вероятности обнаружения молний на краях сети (до 20 км и менее 30 %); ✓ ложные сигналы.
Наблюдения за погодой на метеостанциях	✓ прямые наблюдения за грозами на метеостанции и в её окрестностях; ✓ являются эталоном при валидации дистанционных измерений параметров атмосферы.	✓ неопределённость времени (10 мин, последний час или 3 часа) и местоположения грозы (в радиусе до 30 км); ✓ субъективность; ✓ человеческий фактор (пропуск слабых гроз, неправильное использование кодов погоды); ✓ точечные наблюдения на разреженной сети метеостанций.

Сравнение разных видов мониторинга гроз

В работе производилось сравнение спутниковых и наземных данных в следующих комбинациях:

- валидация спутникового диагноза зон гроз (3 варианта методики APKnc, SEVex и SEVnc) **по данным наземных метеонаблюдений**;
- валидация спутникового диагноза зон гроз (3 варианта методики APKnc, SEVex и SEVnc) **по данным наземных измерений грозопеленгационной системы**;
- одновременная валидация спутникового диагноза зон гроз (3 варианта методики APKnc, SEVex и SEVnc) **по данным грозопеленгационной системы и наземных метеонаблюдений;**
- **попарное сравнение** спутниковых методик диагноза зон гроз(APKnc и SEVex, APKnc и SEVnc, SEVex и SEVnc);
- валидация измерений грозопеленгационной системы **по данным наземных метеонаблюдений.**

Валидация производилась как **визуально** (анализ спутниковых карт с нанесёнными на них данными ГПС и метеонаблюдений), так и **количественно** с использованием различных критериев точности (POD, POO, Hit Rate и др.)

Валидация спутниковых зон гроз наземными метеонаблюдениями

Валидируемые данные: спутниковые зоны гроз (3 класса)
- без гроз
- любая гроза
- умеренная/сильная гроза

Эталонные данные: наблюдения на метеостанциях (2 класса)
- погода в срок наблюдения и в последний час
- погода между сроками

Регион: 37,5-62,6° с.ш. и 25,0-55,0° в.д.

Рассчитывались следующие статистики точности:

- **POD (Probability of Detection)** – вероятность правильного детектирования класса относительно количества случаев по эталонным данным (%);
- **POO (Probability of Occurence)** – вероятность правильного распознавания класса относительно количества случаев этого класса по валидируемым данным (%);
- **HR (Hit Rate)** – точность классификации, то есть отношение суммарного количества случаев правильного детектирования всех классов к количеству случаев всей выборки (%).

Таблица сопряженности

	Зарегистрировано по валидируемым данным		
Зарегистрировано по эталонным данным	**1 – да**	**2 – нет**	
1 - да	**A** Истинные попадания	**B** Промахи	Всего зарегистрировано по эталонным данным **A + B**
2 - нет	**C** Ложные тревоги	**D** Истинное отсутствие грозы	Всего отсутствовало по эталонным данным **C + D**
	Всего зарегистрировано по валидируемым данным **A + C**	Всего отсутствовало по валидируемым данным **B + D**	

POD = A/(A+B)*100 % **POO = A/(A+C)*100 %** **HR=(A+D)/(A+B+C+D)*100 %**

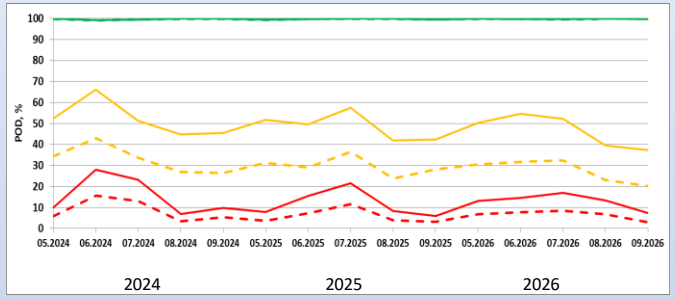
Валидация спутниковых зон гроз по наземным метеонаблюдениям

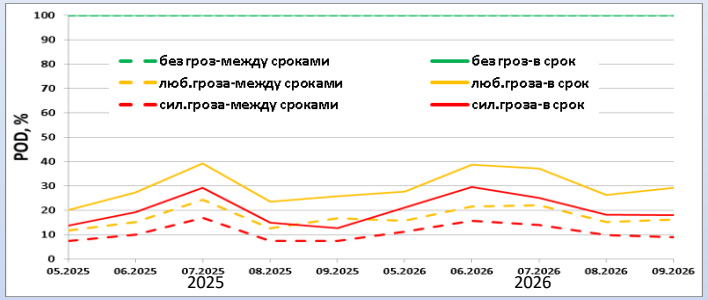
МСУ-ГС-ВЭ/КА Арктика-М + NCEP
2024, 2025, 2026 гг.

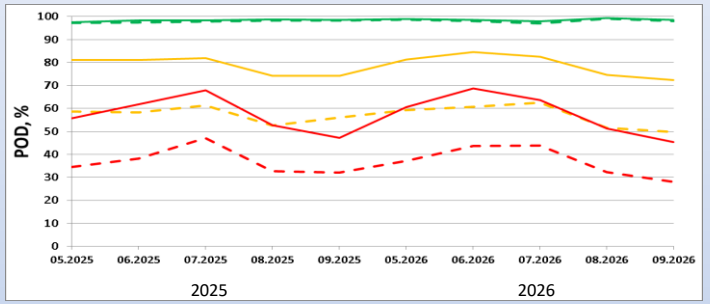
SEVIRI/Meteosat-9 + Exeter
2025, 2026 гг.

SEVIRI/Meteosat-9 + NCEP
2025, 2026 гг.

POD





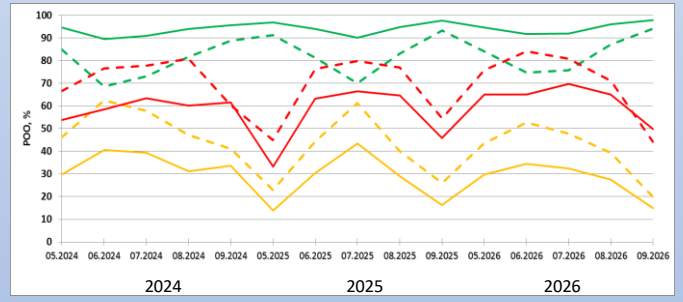


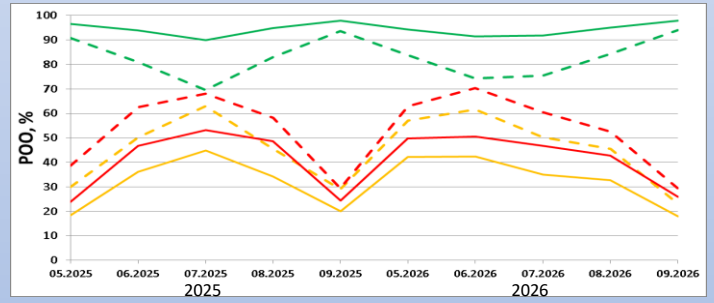
Для класса «любая гроза» в срок: $POD_{ср} \approx 50$ %

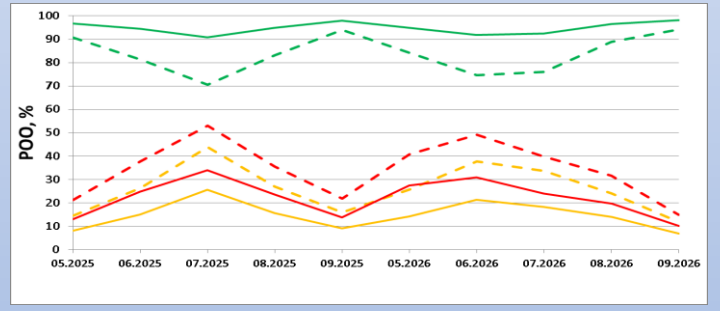
$POD_{ср} \approx 30$ %

$POD_{ср} \approx 79$ %

POO





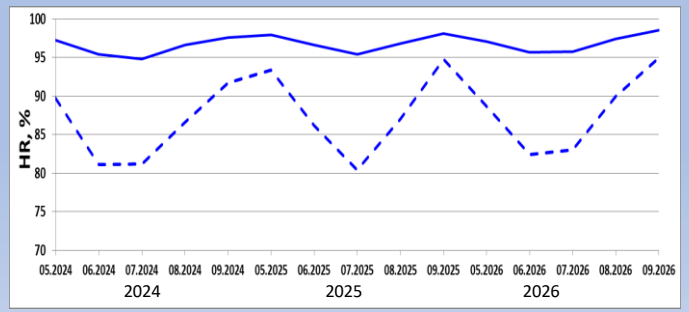


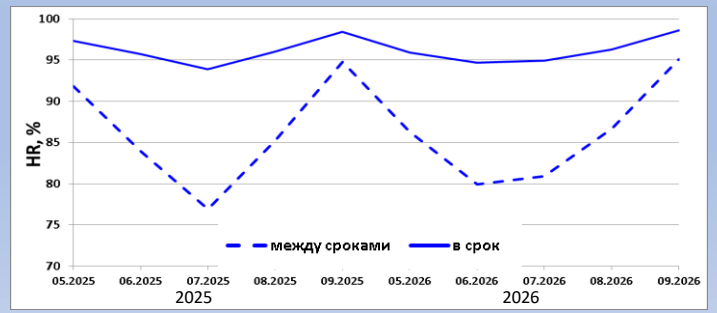
Для класса «любая гроза» в срок: $POO_{ср} \approx 30$ %

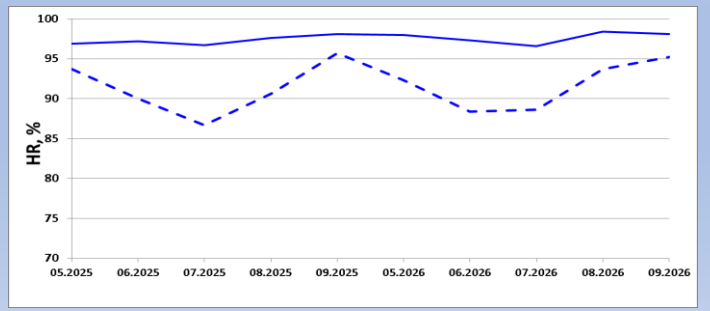
$POO_{ср} \approx 30$ %

$POO_{ср} \approx 14$ %

HR







В срок: **$HR_{ср} \approx 97$ %**

$HR_{ср} \approx 96$ %

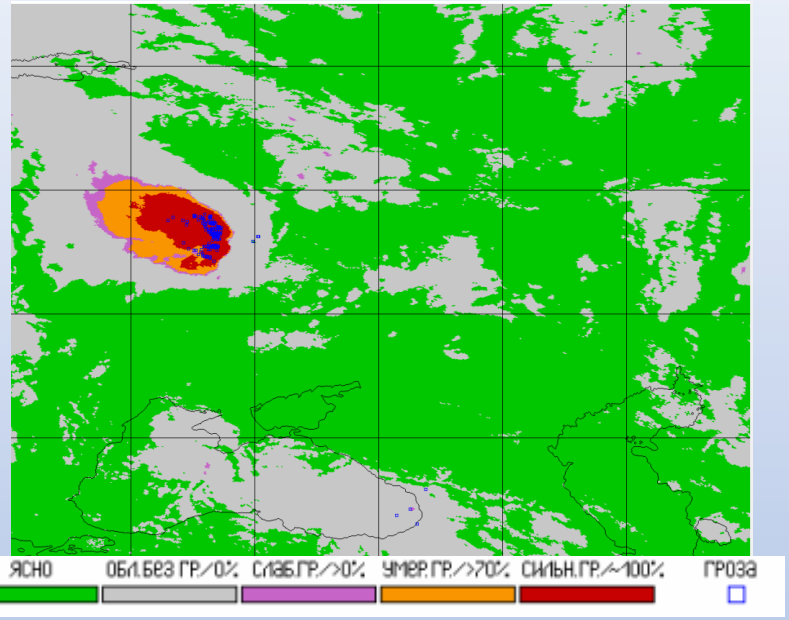
$HR_{ср} \approx 98$ %

Валидация спутниковых зон гроз по наземным измерениям грозопеленгационной системы: методика и результаты

Валидируемые данные: спутниковые зон гроз (3 класса)
- любая гроза
- слабая гроза
- умеренная/сильная гроза

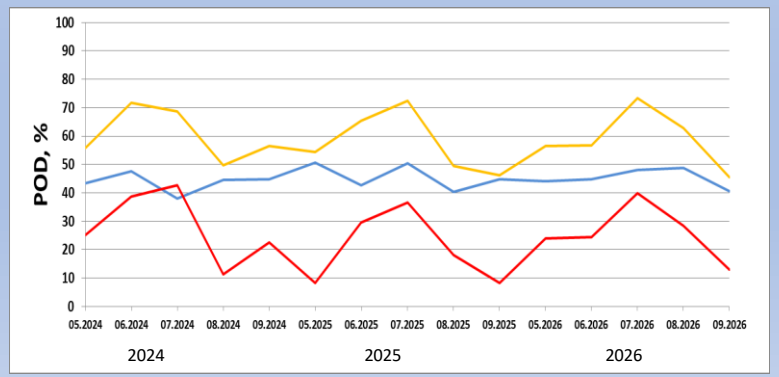
Эталонные данные: измерения грозопеленгационной системы (1 класс)
Регион: 45,0-60,0° с.ш. и 30,0-50,0° в.д.

Рассчитывалась **POD (Probability of Detection)** – вероятность правильного детектирования класса относительно количества случаев наблюдений ГПС (%).



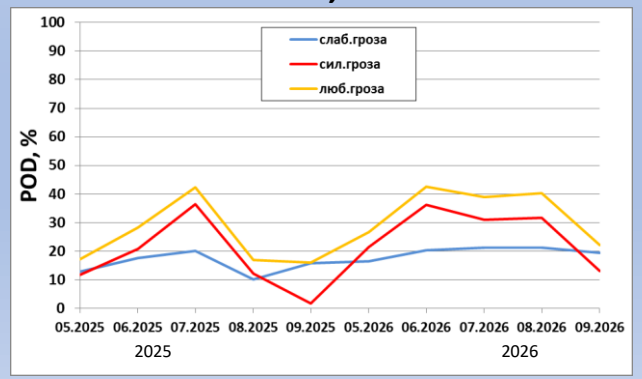
Карта вероятности гроз по данным КА Арктика-М с наноской данных грозопеленгационной системы НИЦ «Планета» 14.07.24 18:00 UTC

МСУ-ГС-ВЭ/КА Арктика-М + NCEP
2024, 2025, 2026 гг.



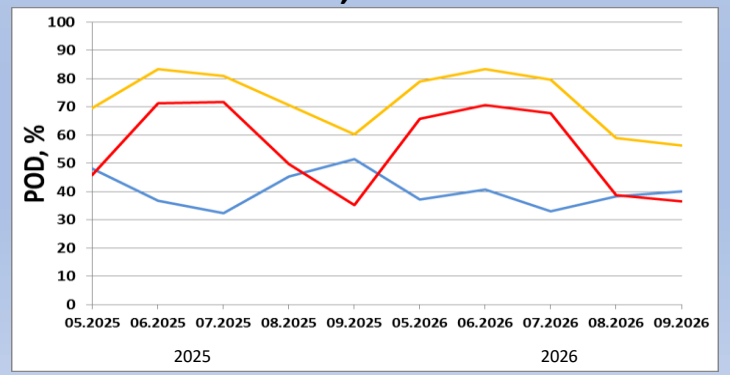
Для класса «любая гроза»: $POD_{ср}$ ≈ 65 %

SEVIRI/Meteosat-9 + Exeter
2025, 2026 гг.



$POD_{ср}$ ≈ 36 %

SEVIRI/Meteosat-9 + NCEP
2025, 2026 гг.



$POD_{ср}$ ≈ 79 %

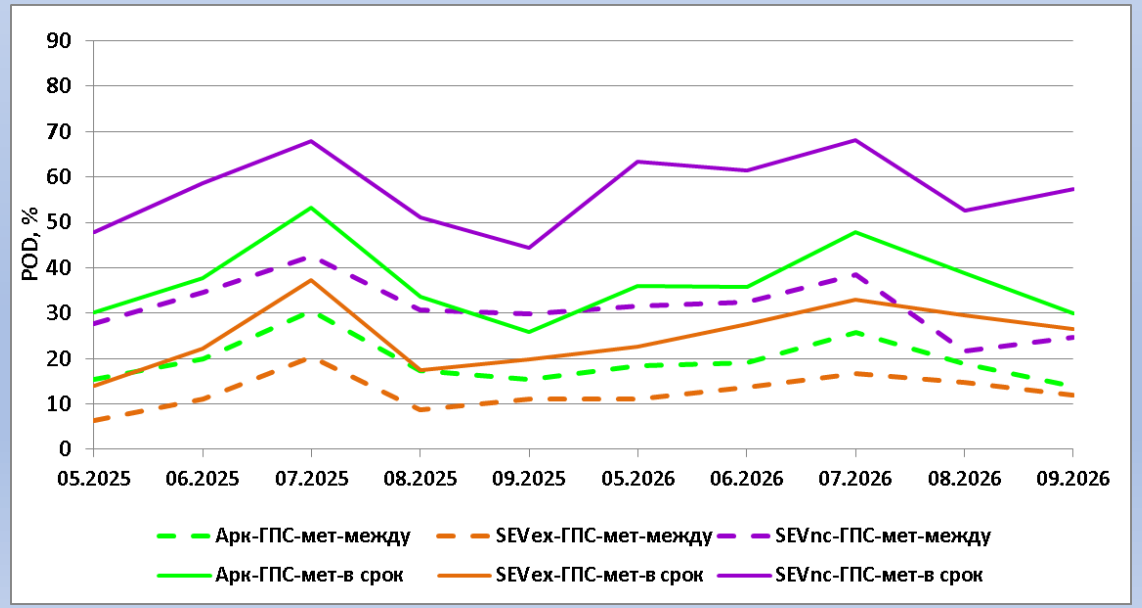
Валидация спутниковых зон гроз по наземным наблюдений метеостанций и измерениям грозопеленгационной системы

Валидируемые данные: спутниковые зон гроз (1 класс)
- любая гроза

Эталонные данные: наблюдения на метеостанциях
- погода в срок наблюдения и в последний час
- погода между сроками
- измерения грозопеленгационной системы

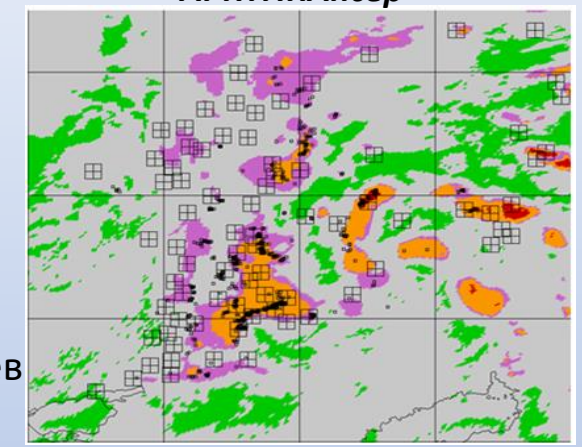
Регион: 45-60° с.ш. и 30-50° в.д.

Рассчитывалась **POD (Probability of Detection)** – вероятность правильного детектирования класса относительно количества случаев ГПС и метеонаблюдений (%).

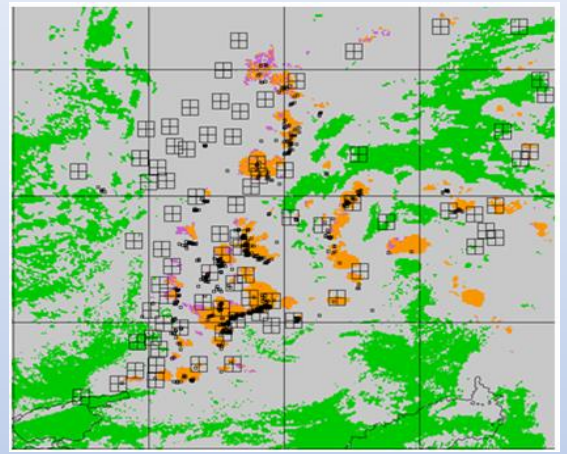


$POD_{ср}$ для ARKnc ≈ 39 %, SEVex ≈ 25 %, SEVnc ≈ 57 %

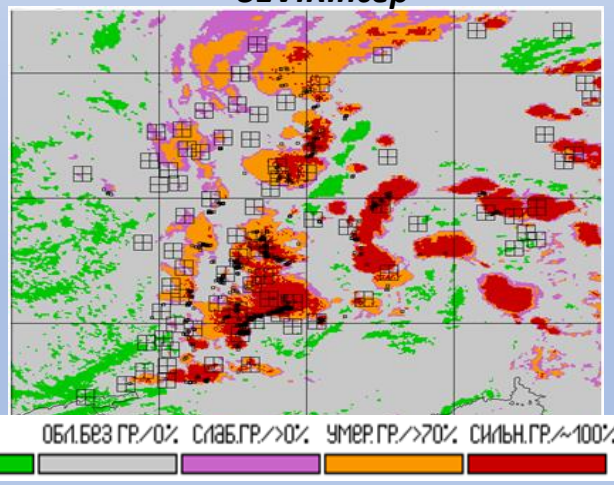
АРКТИКАncep



SEVIRIexeter



SEVIRIncep



Карты спутникового диагноза зон гроз с наноской наблюдений на метеостанциях в срок и последний час (квадрат размером 25x25 пикселов) и измерений ГПС за 15 мин (точка размером 5x5 пикселов)

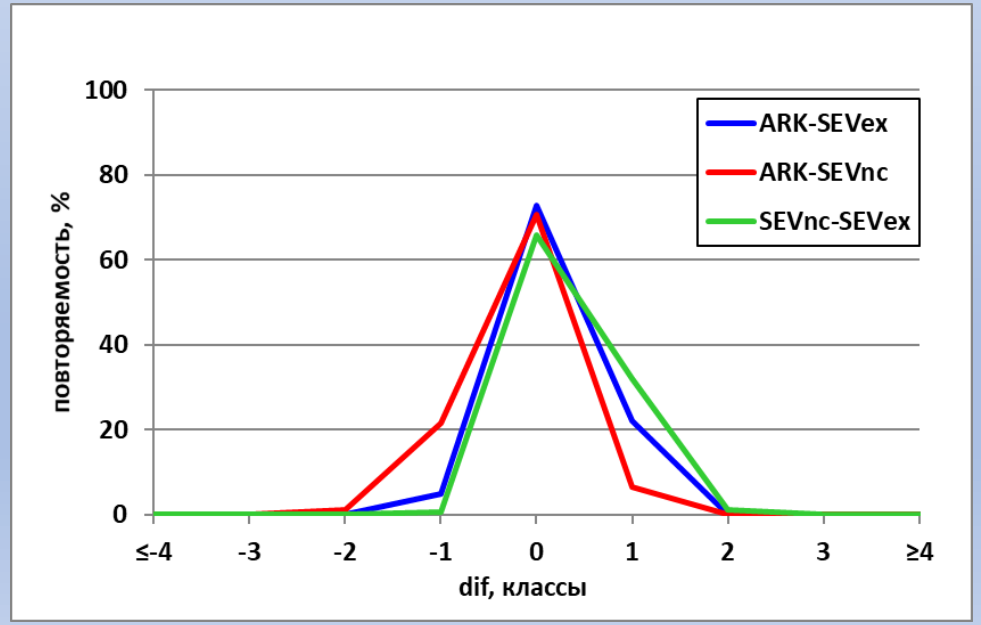
Попарное сравнение трёх спутниковых методик

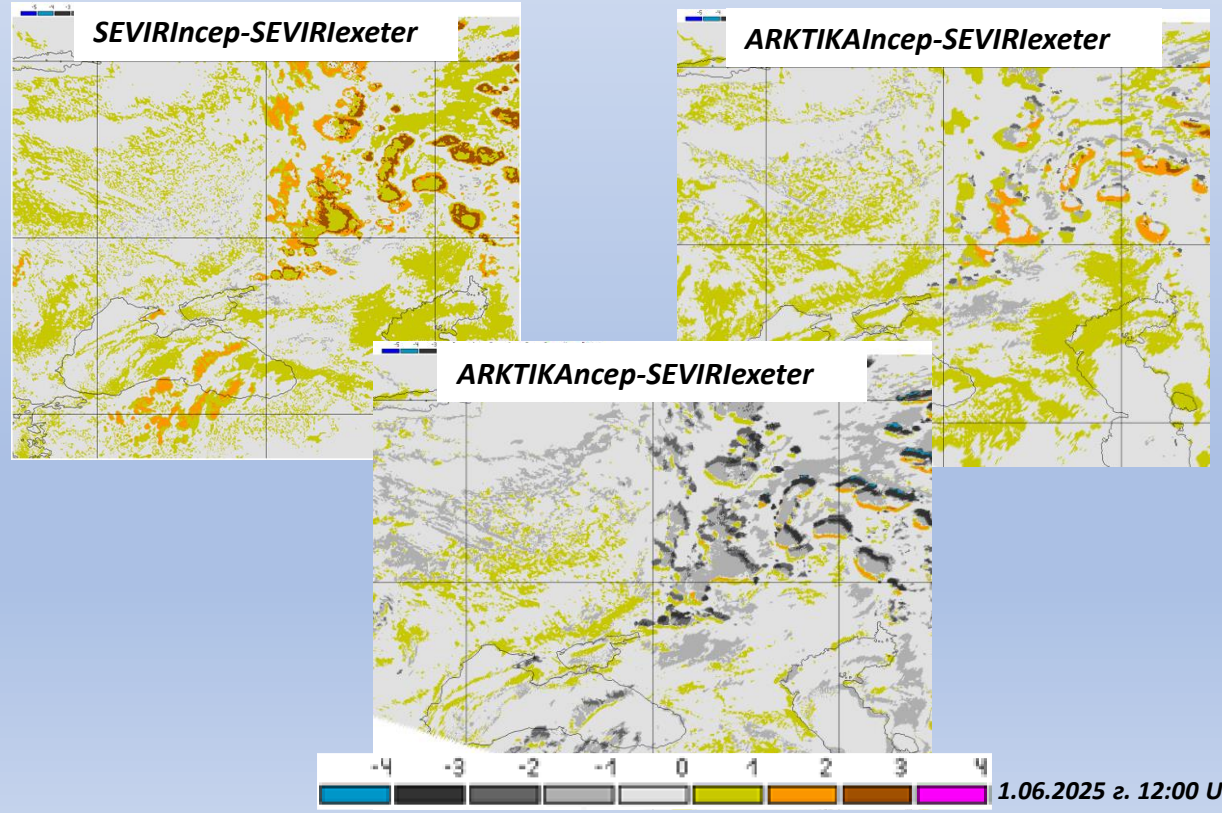
При попарном сравнении спутниковых методик рассчитывалось отклонение результатов классификации одной методики от другой: номерам классов присваивались числа (1 – ясно, 2 – облачно без гроз, 3 – слабая гроза, 4 – умеренная гроза, 5 – сильная гроза) и для каждого пиксела рассматриваемой территории рассчитывалось отклонение **dif**:

$$dif = №класса_{Методика1} - №класса_{Методика2}$$

Для всей выборки и заданного периода времени (месяц или тёплый период) рассчитывалось среднее, минимальное и максимальное значение dif, а также строились гистограммы повторяемости значений dif.

График распределения средних за теплые периоды 2025-2026 гг. значений dif



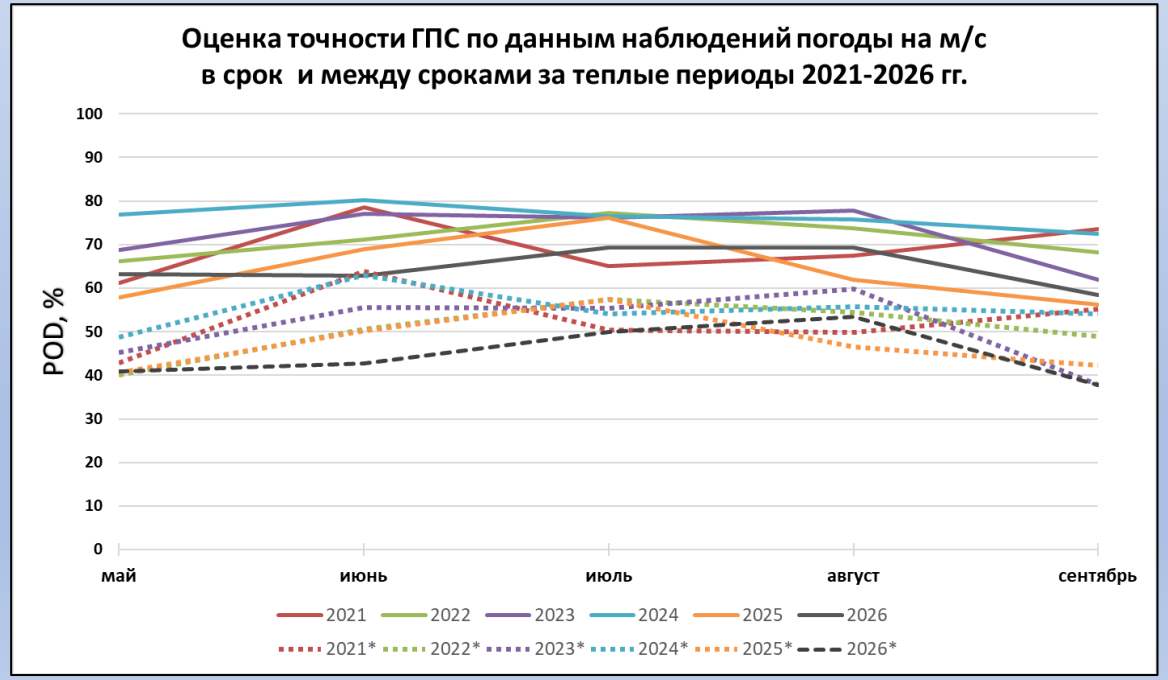


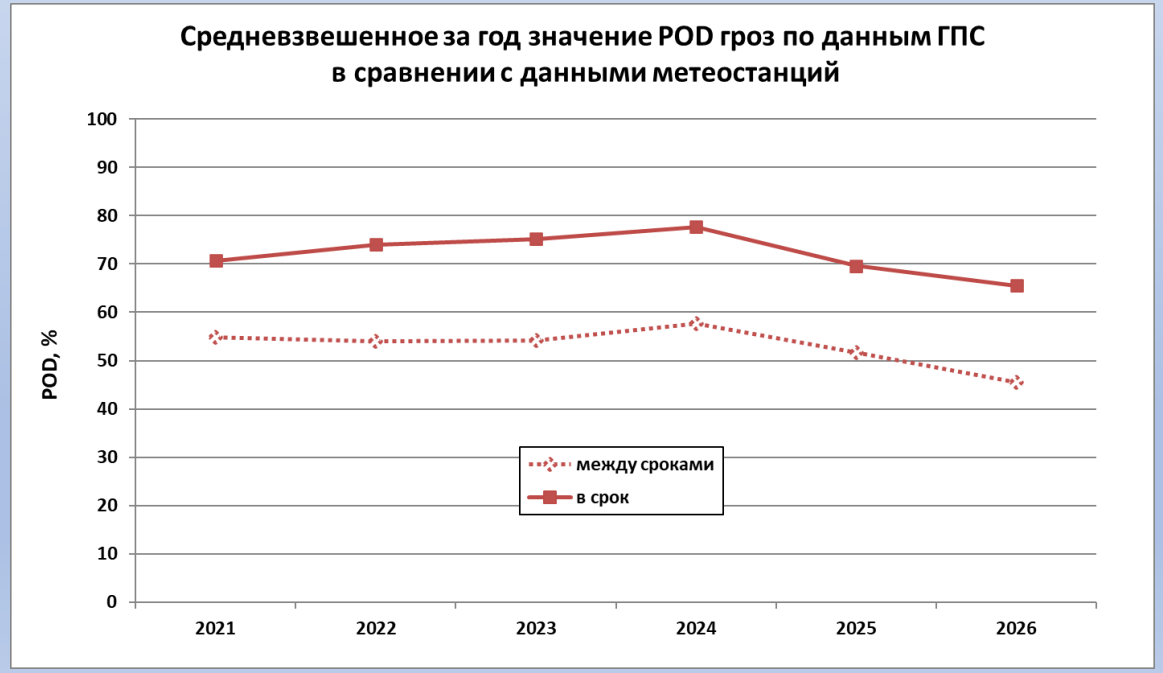
Оценка точности измерений грозопеленгационной системы данными наземных метеонаблюдений

Валидируемые данные: измерения грозопеленгационной системы
Эталонные данные: данные наблюдений на метеостанциях
- погода в срок наблюдения или в последний час
- погода между сроками

Регион: 45 - 60,0° с.ш. и 30,0-50,0° в.д.

Оценивалась **POD (Probability of Detection)** – вероятность правильного детектирования класса относительно количества случаев метеонаблюдений (%).





Основные выводы

- ✓ Методика «ARKTIKAncep» показала **наиболее оптимальные результаты точности** мониторинга гроз как в сравнении с метеонаблюдениями, так и ГПС. Для класса «любая гроза», в среднем, POD составляет около 50 %, POO - около 30 %.

- ✓ У «SEVIRIncep» самые высокие значения POD (в среднем, 79%) и самые низкие значения POO (в среднем, 14 %), что говорит о том, что методика **переоценивает** как размеры и количество грозовых облаков, так и интенсивность гроз.

- ✓ Методика «SEVIRIexeter» оказалась **наименее пригодной** для мониторинга зон гроз из-за потерь потенциально грозовых облаков и облаков со слабыми грозами, а также занижения интенсивности гроз (в среднем, POD и POO 30%), что связано с худшим разрешением модели прогноза погоды Exeter.

- ✓ **Точность классификации (HR)** для всех трёх спутниковых методик при сравнении с «погодой в срок наблюдения» превышает 96 %, тогда как при использовании наблюдений «погода между сроками» составляет менее 91 %.

- ✓ Точность диагноза гроз всеми тремя спутниковыми методиками **выше при сравнении с измерениями ГПС**, чем при использовании данных наблюдений на метеостанциях: для класса «любая гроза» в среднем POD составляет для «ARKTIKAncep» около 65 %, для «SEVIRIncep» 80 % и для «SEVIRIexeter» - 36 %.

- ✓ Мониторинг гроз методикой **«ARKTIKAncep» меньше отличается** от каждой из двух методик по данным SEVIRI/Meteosat, чем две методики по данным SEVIRI/Meteosat друг от друга. Методика «SEVIRIexeter» обычно детектирует меньше облачности, а грозы получаются менее интенсивные, чем «ARKTIKAncep» и особенно «SEVIRIncep».

- ✓ При сравнении с наблюдениями на метеостанциях (погода в срок) в среднем за теплые периоды 2021-2026 гг. **точность измерений ГПС** (POD) составляет **66-78 %**.

- ✓ Для повышения информативности мониторинга грозовой активности над Европейской территорией России целесообразно **комплексировать спутниковую классификацию зон гроз (по данным МСУ-ГС/Арктика-М) с данными ГПС**, что позволяет использовать преимущества обеих систем: широкий охват и пространственное распределение облачности с зонами гроз различной вероятности от спутникового мониторинга с фактическими координатами молний по измерениям ГПС.

Спасибо за внимание!!!

Черновик

POD(1)=(A/(A+B))*100 %
POD(2)=(D/(C+D))*100 %
POO(1)=(A/(A+C)) *100 %
POO(2)=(D/(B+D))*100 %
HR=(A+D) / (A+B+C+D) *100 %

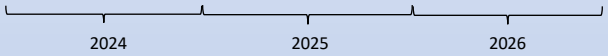
Таблица сопряженности

Зарегистрировано по эталонным данным	Зарегистрировано по валидируемым данным		
	1 - да	2 - нет	
1 -да	Истинные попадания N(1,1)	Промахи N(1,2)	Всего наблюдалось по контрольным данным
2 - нет	Ложные тревоги N(2,1)	Истинное отсутствие грозы N(2,2)	Всего отсутствовало по контрольным данным
	Всего наблюдалось по валидируемым данным	Всего отсутствовало по валидируемым данным	

POD(1)=(N(1,1)/N(1,1)+N(1,2))
POD(2)=(N(2,2)·100)/(N(2,1)+N(2,2))

POO(1)=(N(1,1)·100)/(N(1,1)+N(2,1))
POO(2)=(N(2,2)·100)/(N(1,2)+N(2,2))

HR=((N(1,1)+N(2,2))·100) / (N(1,1)+N(1,2)+N(2,1)+N(2,2))



2024 2025 2026