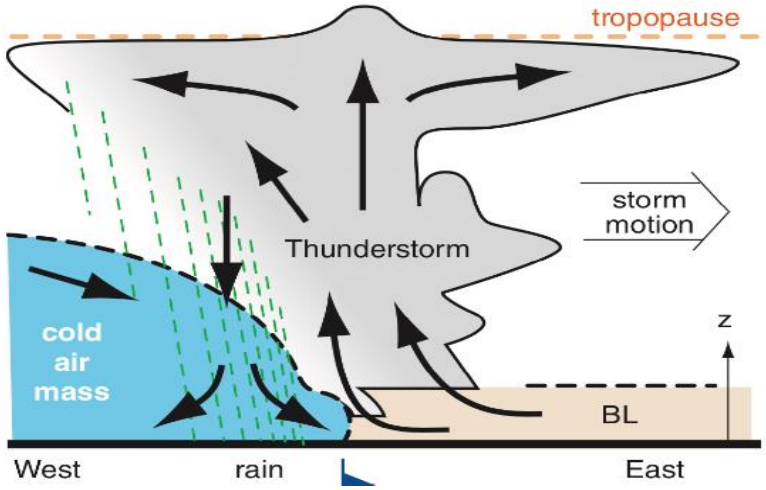
Двадцать четвертая международная конференция
"СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА"
г. Москва, 9-13 ноября 2026 г.

Усовершенствованные алгоритмы автоматического выявления диагностических признаков интенсивной конвекции на Европейской территории России

Калмыкова О.В.[1,2], Спрыгин А.А.[1,2], Козлов С.В.[1]
[1]Научно-производственное объединение "Тайфун",
[2]Институт физики атмосферы РАН

Сигнатуры интенсивной конвекции

- Интенсивные конвективные процессы могут быть выявлены по определенным признакам - **сигнатурам** этих процессов.
- Сигнатуры проявляются в данных дистанционных наблюдений и являются отражением сложной динамики процессов в системах глубокой конвекции.
- Установлена ***статистическая связь*** наблюдаемых сигнатур с регистрацией опасных явлений, как следствие подход к распознаванию сигнатур используется в прогностической практике (особенно в США и в Европе).



- Сигнатуры подробно описаны преимущественно в иностранной литературе и пока довольно редко исследуются отечественными специалистами, в том числе во взаимосвязи с опасными явлениями.
- Первостепенной причиной незначительного интереса к данной тематике в России можно назвать запоздалое по сравнению с более развитыми странами Америки и Европы развертывание собственной сети инструментальных дистанционных наблюдений.
- В настоящее время возможности и техническое оснащение наблюдательной сети на Европейской территории России позволяют проводить анализ проявлений сигнатур и в нашем регионе. Важно оценить их ***прогностическую значимость***.

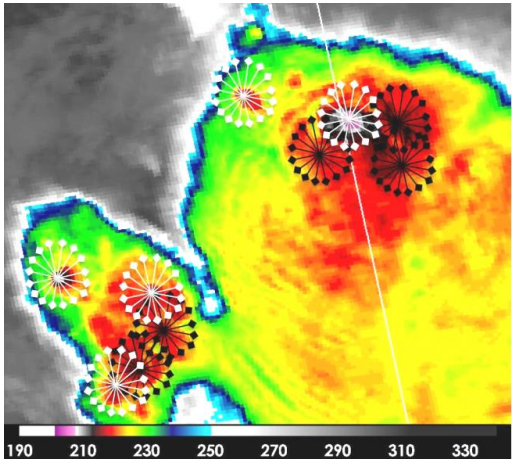


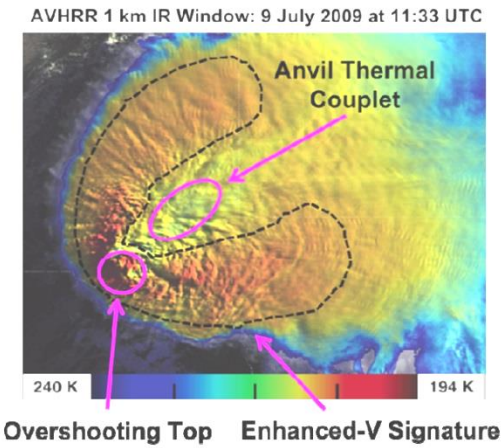
1. Калмыкова О.В., Спрыгин А.А. Диагностические признаки интенсивной конвекции. Часть 1: по данным наземных радиолокационных наблюдений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2025. Т. 22. № 5. С. 9-25. DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-5-9-25.
2. Спрыгин А.А, Калмыкова О.В. Диагностические признаки интенсивной конвекции. Часть 2: по данным спутниковых наблюдений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2025. Т. 22. № 6. С. 9-24. DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-6-9-24.

Автоматическое детектирование сигнатур

В 2025 г. разработаны программные средства для автоматического детектирования 4 известных сигнатур различного типа по данным наблюдательной сети Росгидромета и данным космических аппаратов Meteosat и Электро-Л:

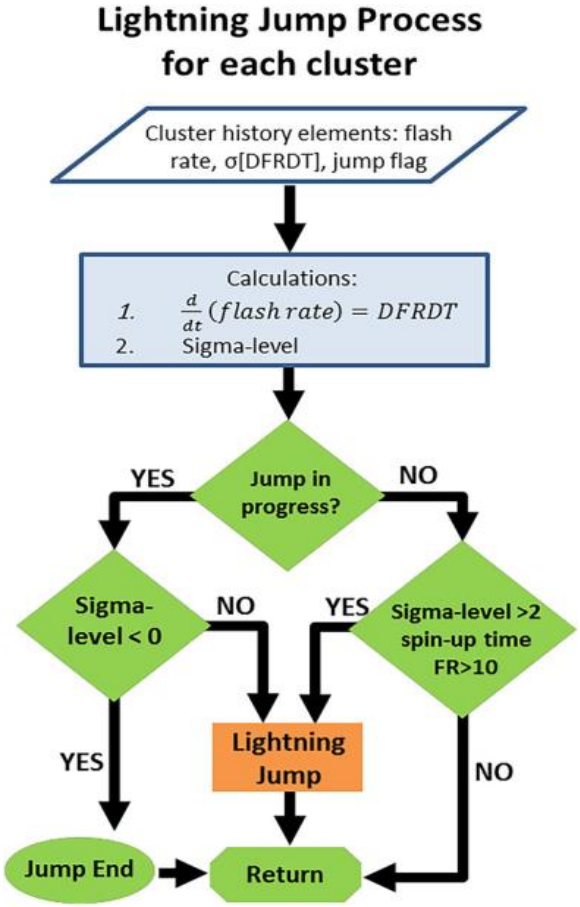
- спутниковые сигнатуры **OT** и комплекс Cold–U/V/ring (**ATC**), с учетом эффекта параллакса





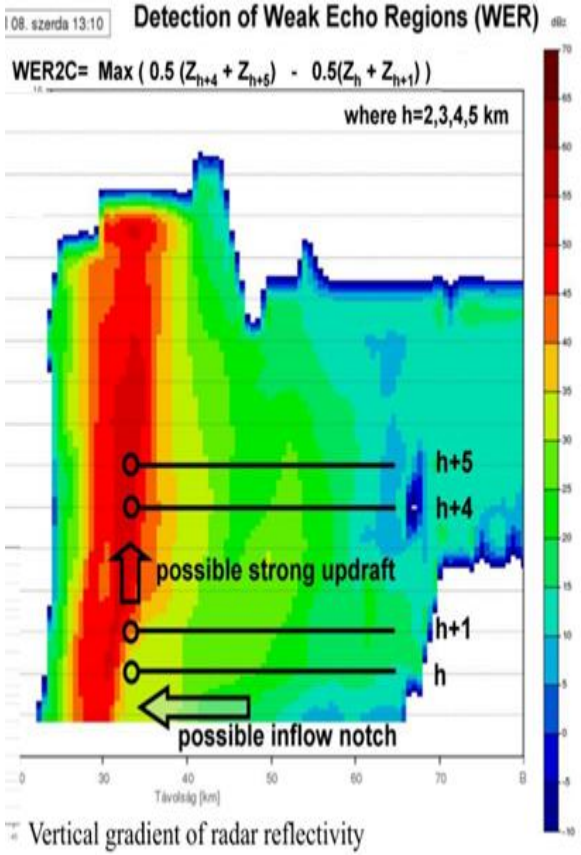
© Bedka K. et al.

- сигнатура молниевой активности **LJ**



© Schultz K.J. et al.

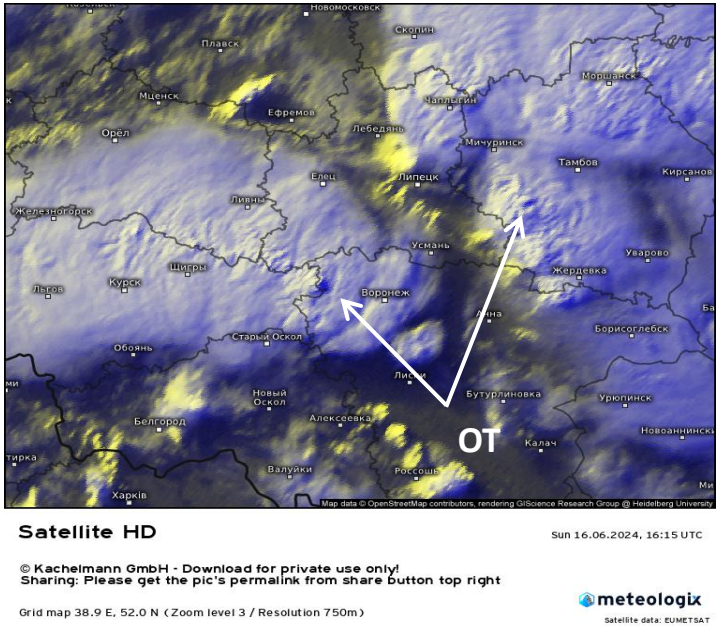
- радарная сигнатура **WER**



© Simon A. et al.

Настройка программ автораспознавания

- По результатам работы программных средств автораспознавания сигнатур на Европейской территории России установлено, что в период 2019-2025 гг. сигнатуры выявлялись в более чем **70% случаев** регистрации опасных явлений, за **30-40 мин** до их фиксации.
- На архивных данных проведена работа по оптимизации параметров работы программ автораспознавания сигнатур.

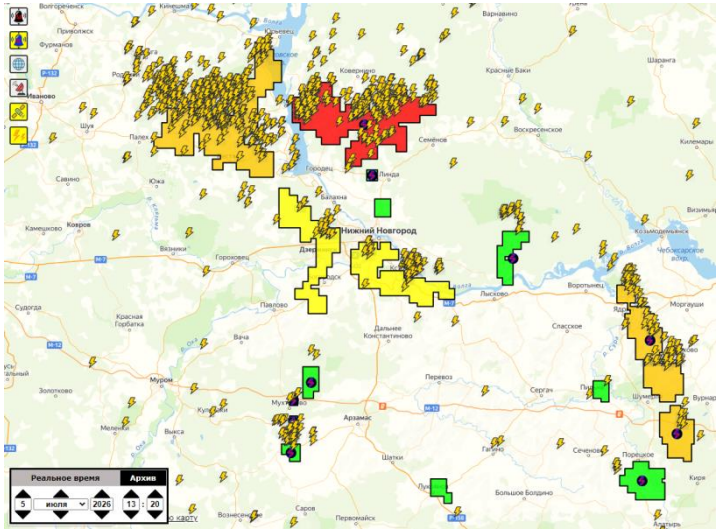


- **ОТ и АТС**

Настройка программы детектирования по данным Электро-Л №3 на основе размеченного экспертом набора снимков Meteosat-8 для 75 мощных конвективных штормов 2024-2025 гг. в видимом и ИК диапазоне, которые были взяты за эталон – на этих снимках отчетливо выявлялись сигнатуры различного вида.

- **WER**

Вычислительные эксперименты с различными пороговыми значениями вертикальных и горизонтальных градиентов радарной отражаемости.

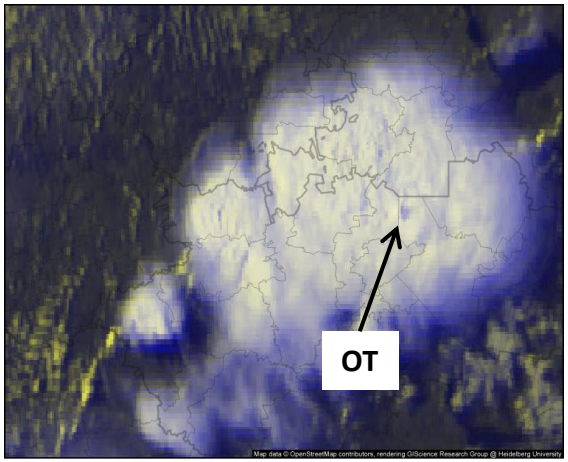


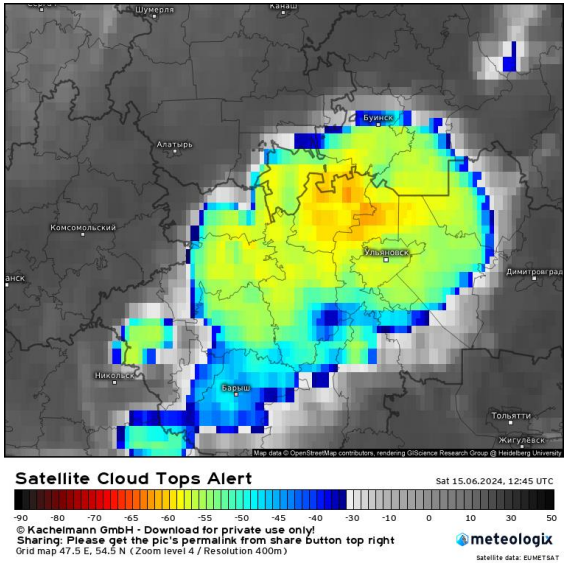
- **LJ**

Вычислительные эксперименты с варьированием размера буферной зоны учета принадлежности молниевого разряда к радарному очагу, использование новой стратегии однозначного соотнесения разряда с наиболее близко расположенным к нему очагом.

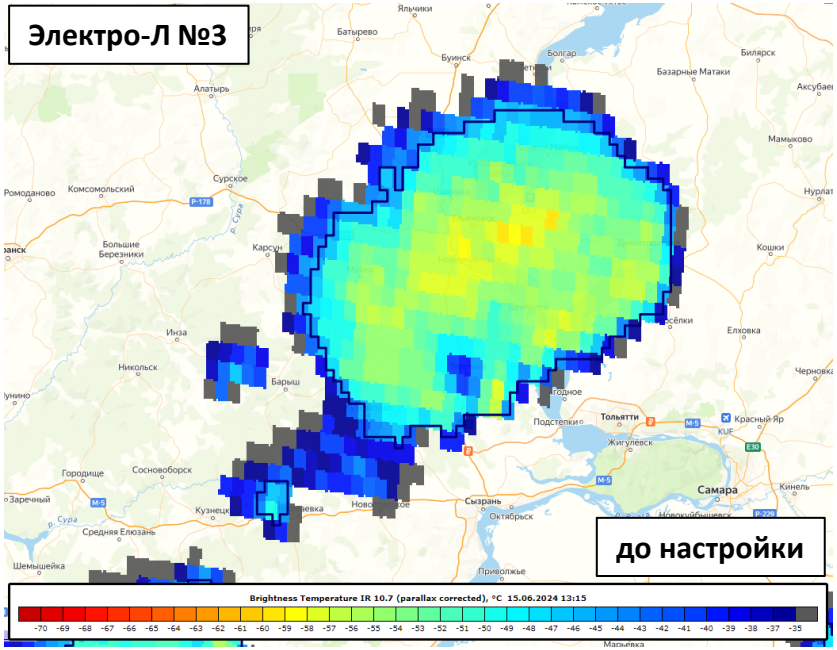
Спутниковые сигнатуры ОТ и АТС

Эталон Meteosat-8

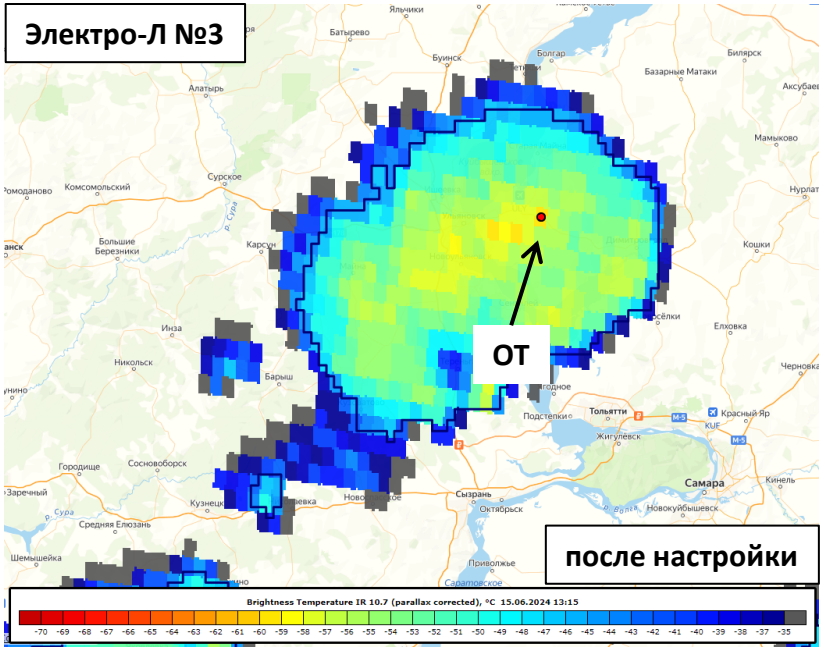




Электро-Л №3

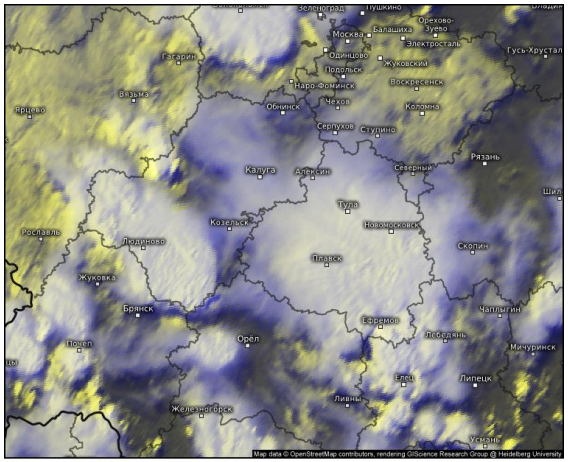


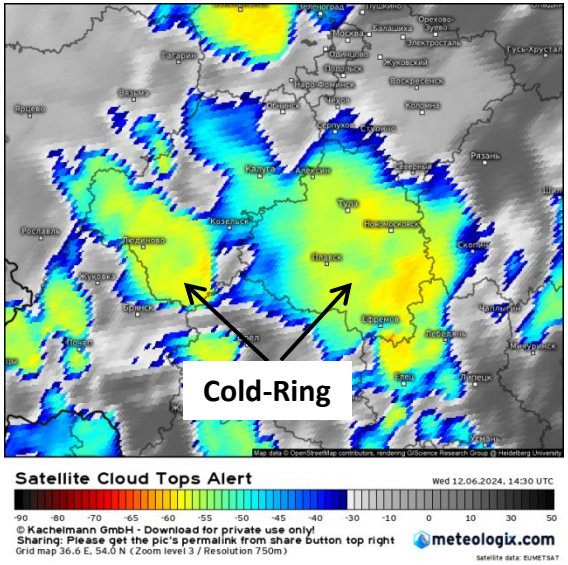
Электро-Л №3



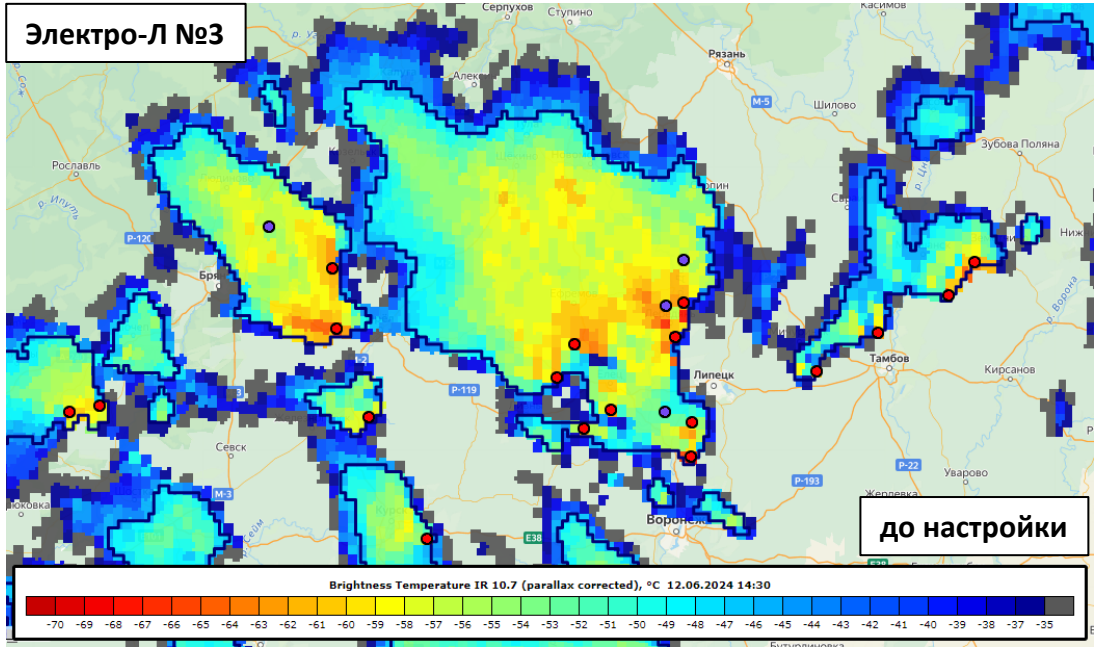
Спутниковые сигнатуры ОТ и АТС

Эталон Meteosat-8

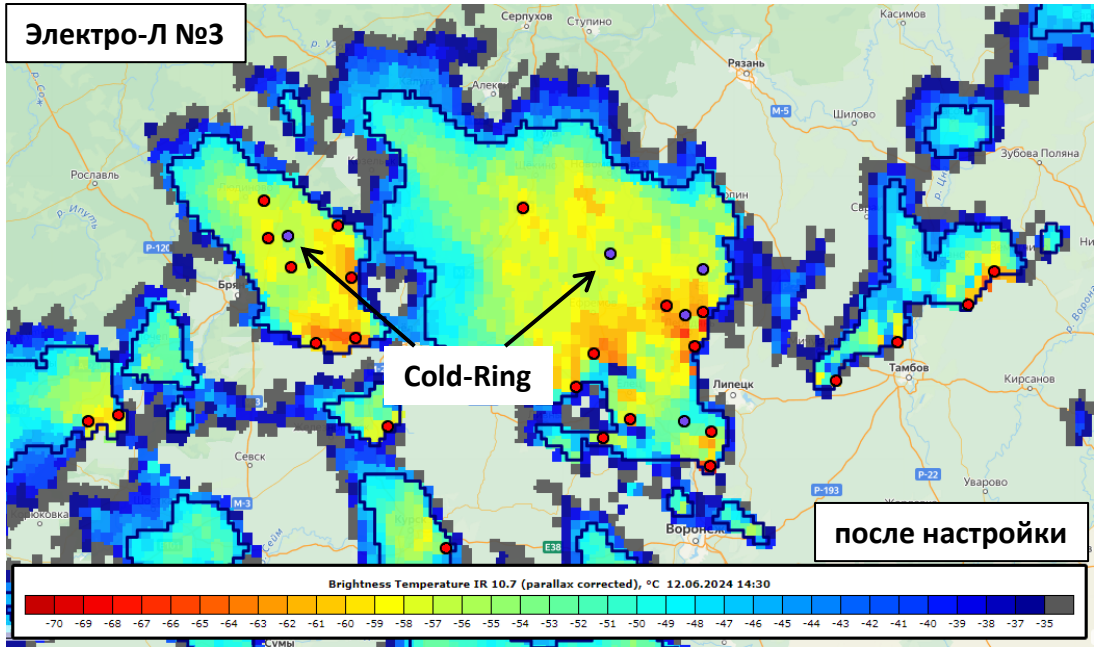




Электро-Л №3

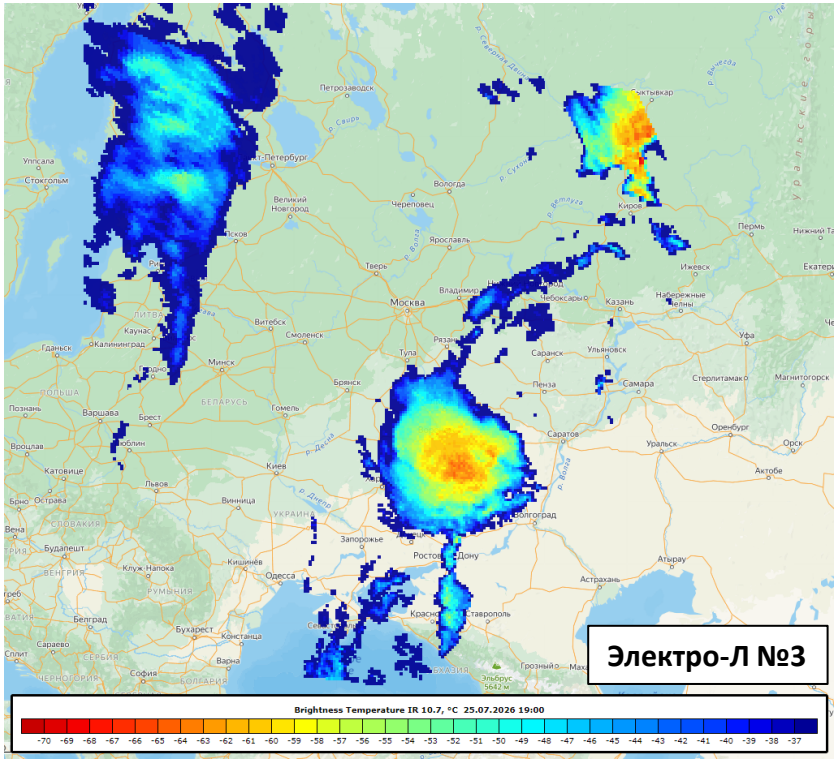


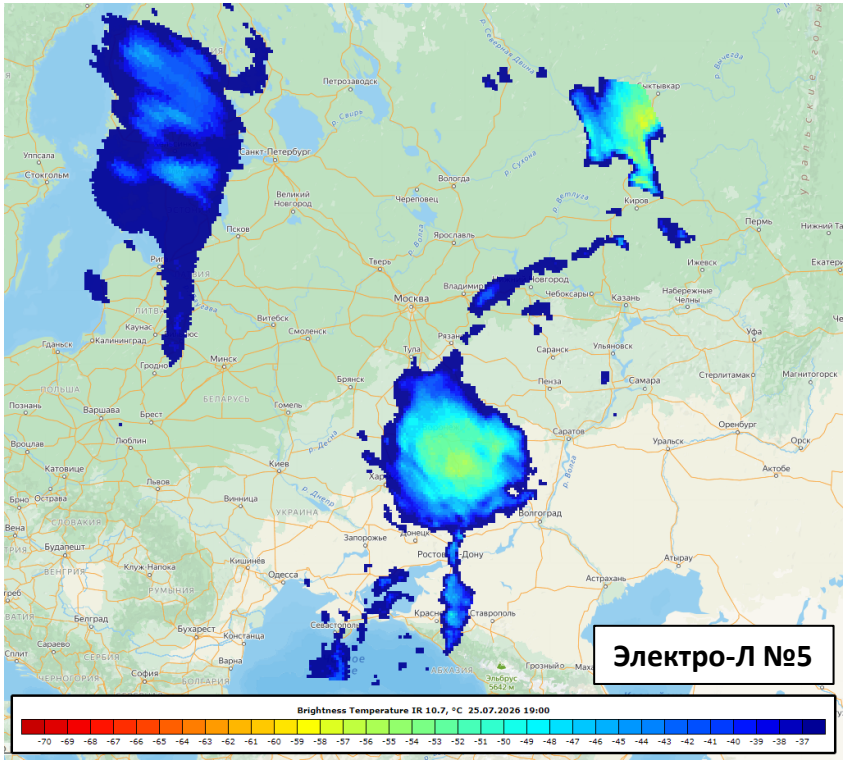
Электро-Л №3



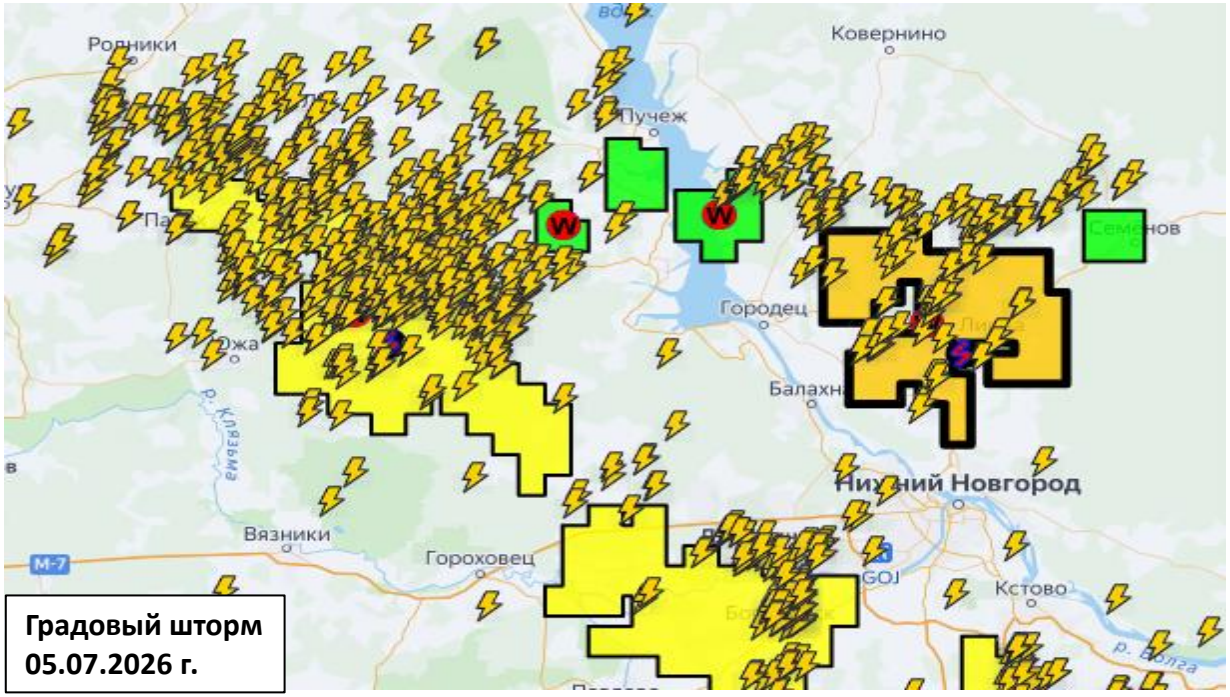
Спутниковые сигнатуры ОТ и АТС

- По результатам настройки программы обработки данных Электро-Л №3 удалось значительно повысить точность автораспознавания сигнатуры ОТ – с 45 до 76%, для АТС точность повысилась с 30 до 37%.
- Невысокие результаты по сигнатуре АТС, даже с учетом предпринятых попыток улучшения качества ее выявления отражают общую проблему – пространственное разрешение данных Электро-Л №3 является ***крайне грубым*** для эффективного обнаружения этой сигнатуры во всех случаях ее реальных проявлений в данных других спутников более высокого разрешения.
- С вводом в эксплуатацию нового спутника Электро-Л №5 (август 2026 г.) обнаружились проблемы совместимости данных аппаратов №3 и №5, как следствие запланированы работы по настройке программы выявления спутниковых сигнатур по данным Электро-Л №5.





Сигнатура молниевой активности LJ



Градовый шторм 05.07.2026 г.

Оптимальный вариант распознавания сигнатуры LJ:

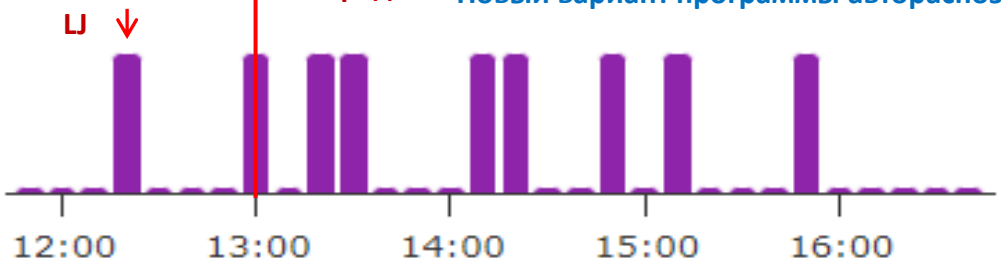
- размер буферной зоны – 10 км
- однозначная принадлежность разрядов

Исходный вариант программы автораспознавания



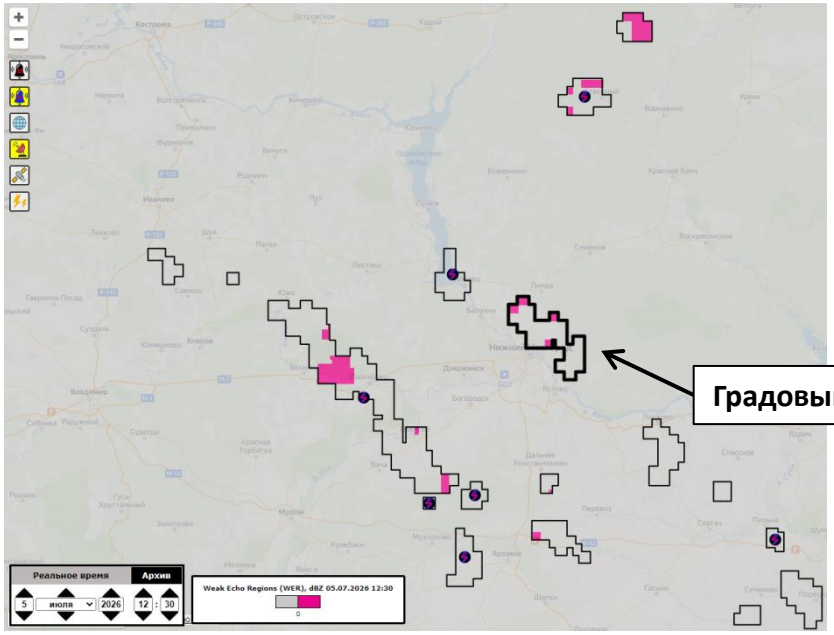
Град

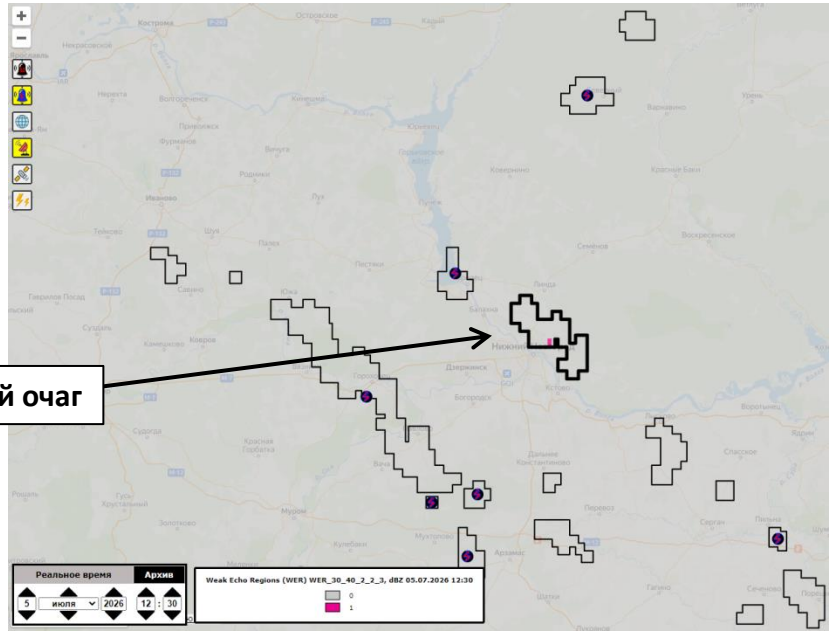
Новый вариант программы автораспознавания



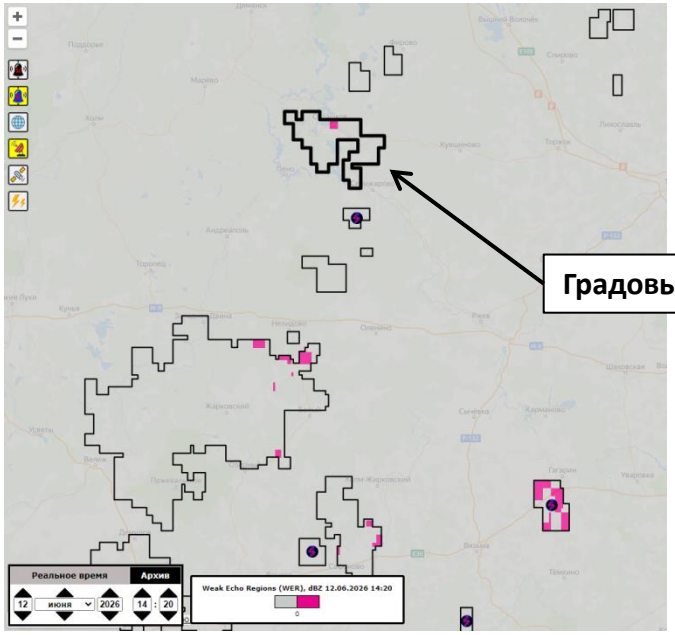
Физически более правдоподобное распределение случаев выявления сигнатуры LJ (отсутствуют ложные LJ в конце жизненного цикла шторма)

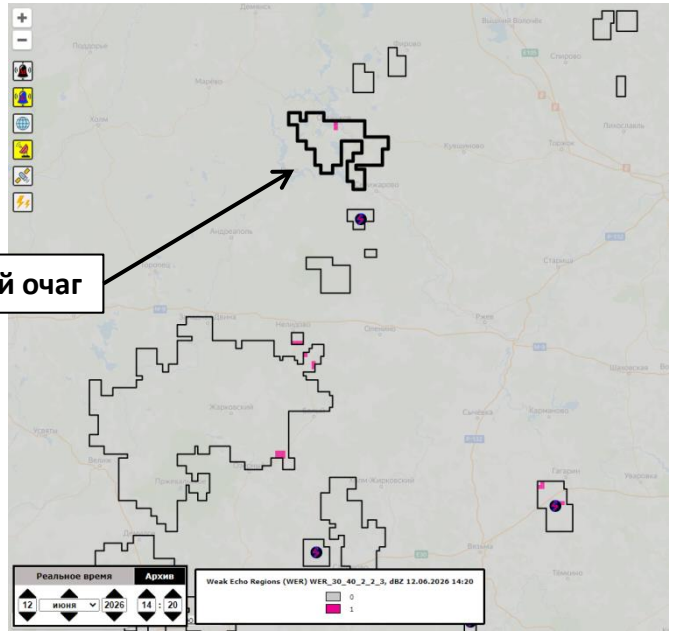
Радарная сигнатура WER





Градовый очаг





Градовый очаг

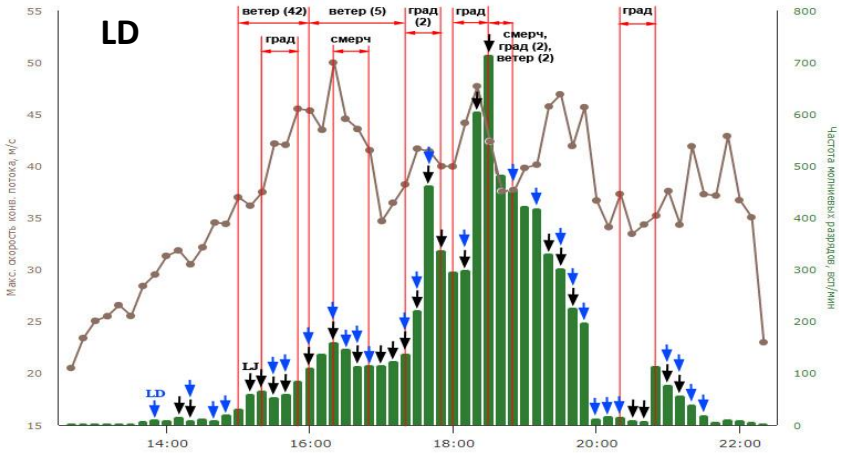
слева: текущий вариант программы распознавания WER

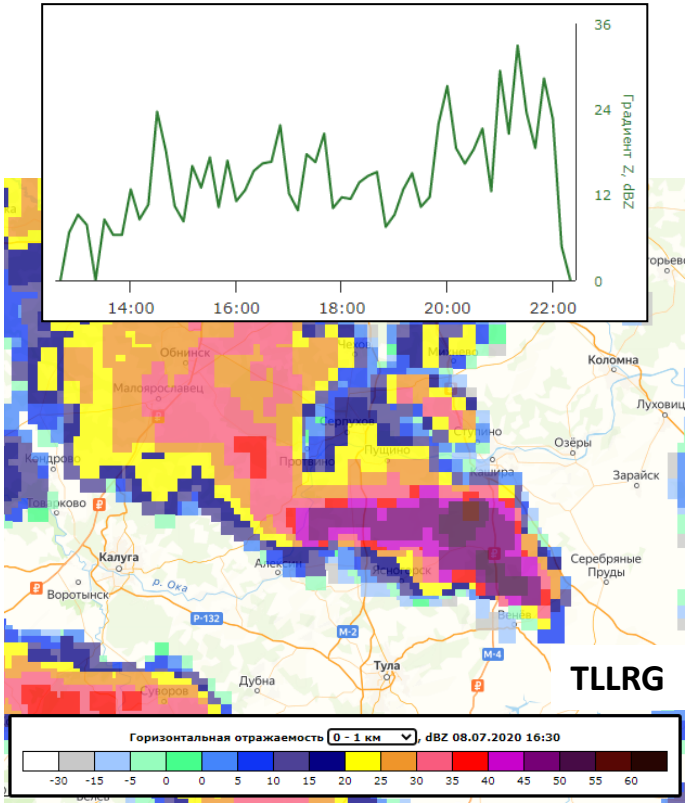
справа: новый вариант с тестовым набором параметров (меньше ложных срабатываний)

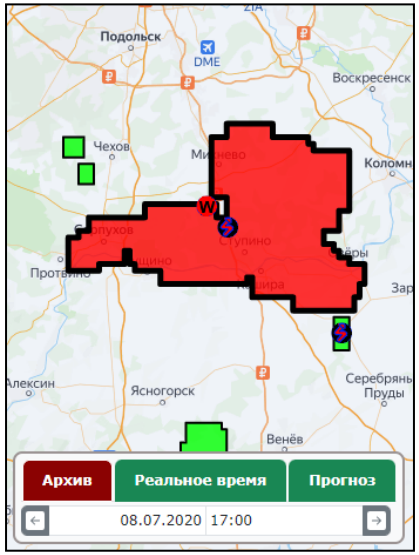
Автоматическое детектирование новых сигнатур

В 2026 г. разработаны программные средства для автоматического детектирования новых сигнатур:

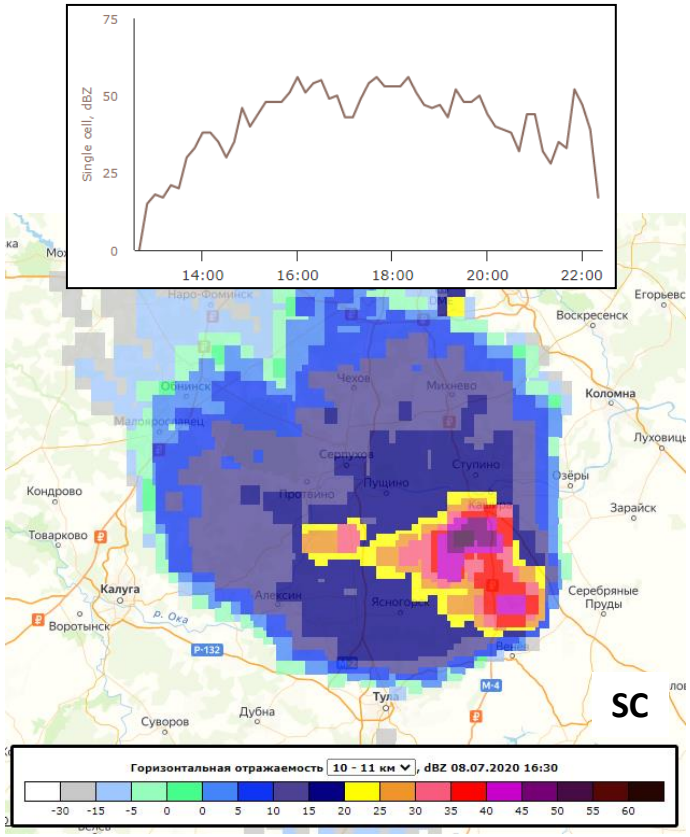
- резкое падение частоты молниевых разрядов - **Lightning Dive (LD)**
- устойчиво высокие значения радарной отражаемости на верхнем уровне - **Single Cell (SC)**
- зона больших градиентов радарной отражаемости на нижнем уровне - **Tight Low Level Reflectivity Gradient (TLLRG)**







Радарный очаг суперячейки 08.07.2020 г.



Заключение

- Проведены вычислительные эксперименты с варьированием параметров работы разработанных в 2025 г. программных средств выявления сигнатур интенсивной конвекции OT, ATC, WER, LJ.

- Определены наиболее оптимальные значения параметров, показавшие наилучшие результаты на архивных данных за период 2019-2025 гг.

- Точность автораспознавания сигнатуры OT повысилась с 45 до 76%, ATC - с 30 до 37%. Установлено, что пространственное разрешение данных Электро-Л №3 является крайне грубым для эффективного обнаружения сигнатуры ATC.

- Схема выявления сигнатуры WER с использованием пороговых значений градиентов отражаемости как по вертикали, так и по горизонтали позволяет уменьшить число ложных идентификаций по сравнению с вариантом учета только вертикального градиента.

- Наилучшие (физические правдоподобные) результаты автораспознавания сигнатуры LJ достигаются при учете молниевых разрядов, располагающихся на расстоянии не более 10 км от радарного очага, и однозначном распределении разрядов между очагами.

- Разработаны программные средства для распознавания новых сигнатур интенсивной конвекции, в частности сигнатуры молниевой активности Lightning Dive (LD), а также набора радарных сигнатур, связанных с особенностями распределения горизонтальной отражаемости на нижнем приповерхностном уровне (для выявления зон высоких горизонтальных градиентов) и на верхних уровнях (для выявления зон высоких значений отражаемости, более 40 dBZ). Проводится работа по тестированию новых программ.