

Анализ некоторых случаев мощных мезомасштабных конвективных систем и связанных с ними опасных явлений вблизи г. Обнинска на основе данных: численного моделирования, дистанционных наблюдений, а также высотной метеорологической мачты НПО «Тайфун»



Спрыгин А.А.^{1,2}, Калмыкова О.В.^{1,2}, Кулижникова Л.К.¹, Мацкевич М.К.¹

¹Научно-производственное объединение "Тайфун", Росгидромет

²Институт физики атмосферы РАН

Email: spralexandr@gmail.com

Цели работы

1. Демонстрация возможностей диагноза и прогноза (на разл. врем.интервалах) конвективных ОЯ с помощью объединения и анализа данных различного типа – на примере Веб ГИС НПО Тайфун
2. Анализ различных предикторов для ОЯ различного типа – на примерах нескольких значимых событий
3. Сопоставление дистанционных диагностических данных с данными наземных измерений – пример многостороннего взгляда на генезис и динамику ОЯ
4. Выделение наиболее значимых предикторов ОЯ различного типа по модельным данным, сигнатур и экспериментальных критериев по диагностическим данным.

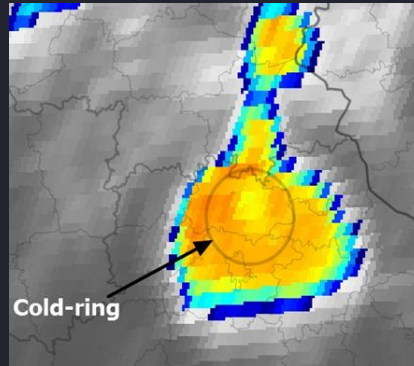
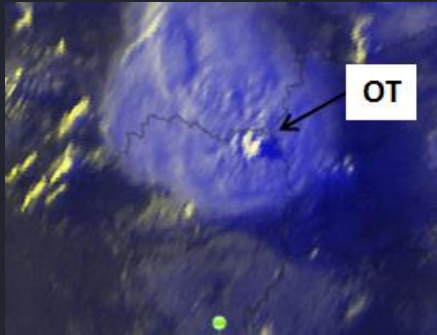
Данные. Анализируемые случаи

- DWD, KNMI, ...: карты приземного анализа
- Meteologix.com: карты реанализа ERA5, спутниковые данные MSG, MTG
- Meteorad.ru: радарные карты сеть ДМРЛ-С (1х1 км)
- Веб-ГИС НПО Тайфун: WRF (6 км), ДМРЛ (4х4 км), Электро-Л, MSG, ГПС, спец. параметры, сигнатуры
- ВММ (полигон НПО Тайфун): температура, ветер – на разл. уровнях; осадки, давление
- ОЯ: данные очевидцев: фото, видео

Перечень случаев (Обнинск):

- 08.06.2025, 10 UTC: крупный град
- 26.07.2025, 11-12 UTC: сильный ливень
- 03.07.2020, 15 UTC: шквал
- 19.08.2023, 19-21 UTC: сильная гроза

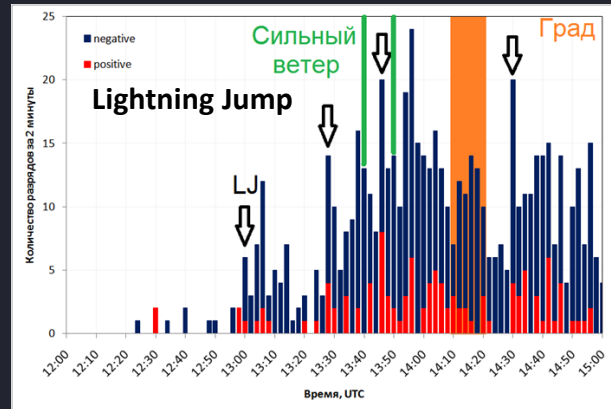
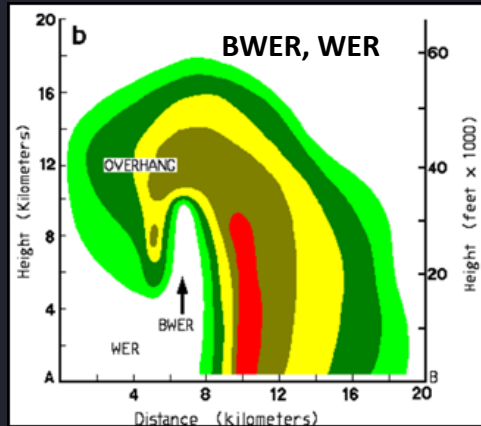
Сигнатуры интенсивной конвекции



Заблаговременность по отношению к ОЯ!

Более полный обзор сигнатур (радарных и спутниковых) - в статьях:

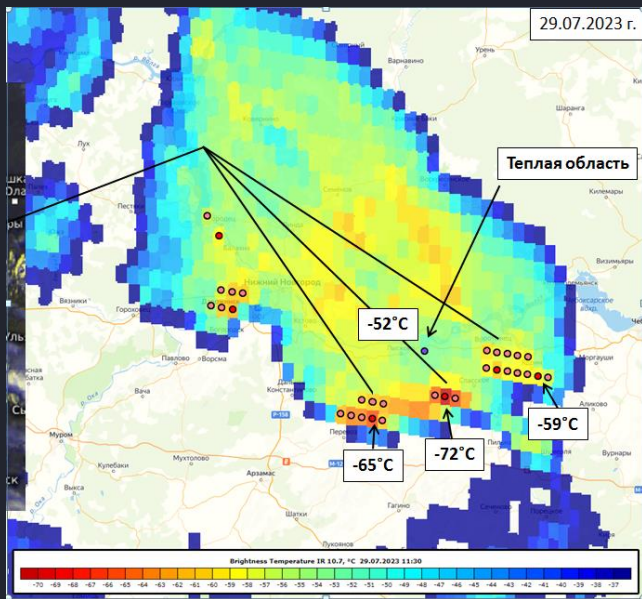
- Калмыкова О.В. , Спрыгин А.А. Диагностические признаки интенсивной конвекции. Часть 1: по данным наземных радиолокационных наблюдений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2025. Т. 22. № 5. С. 9–25



- Спрыгин А.А. , Калмыкова О.В. Диагностические признаки интенсивной конвекции. Часть 2: по спутниковым данным - в печати

Авто-распознавание сигнатур

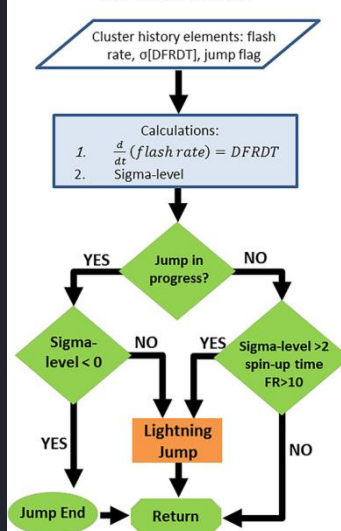
OT и Cold-U/V/ring (ATC)



© Bedka K. et al.

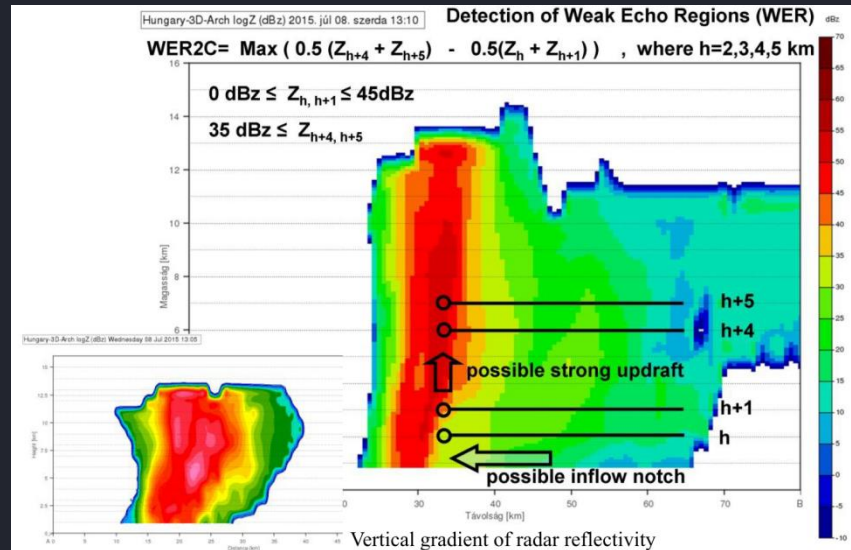
LJ (2 sigma)

Lightning Jump Process for each cluster



© Schultz K.J. et al.

WER (WER2C)



© Simon A. et al.

Алгоритмы реализованы и тестируются в Веб-ГИС НПО Тайфун

8 июня 2025 г. 10 ч UTC ОЯ: Крупный град: ~ 3-4 см (Обнинск) + шквал и ливень

Обнинск



Московская область
(14 UTC): град до 8 см



European Severe Weather Database
ESWD - operated by European Severe Storms Laboratory

Adjust filters ▼

Reporter: Thilo Kühne (ESWD management/ESSL Tea...)

Large Hail

Max. Hail Diameter: 8 cm

Krasnoznamensk, Moskva, Russia

08/06/2025 14:00 UTC (+/- 15 minutes)

Reporter: Thilo Kühne (ESWD management/ESSL Tea...)

Coordinates

Lat.: 55.5990° Long.: 37.0390° (+/- 3 Kilometers)

Information Source

Website Eye Witness Event Photo

External URL(s)

vk.com

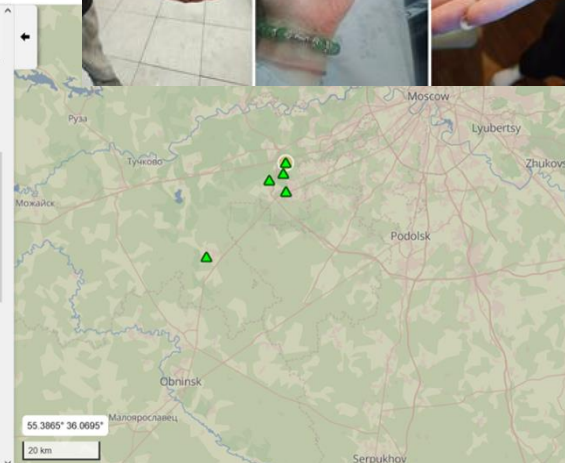
Reference

- Фобос. Катаклизмы и катастрофы природы. (VK), 08 JUN 2025

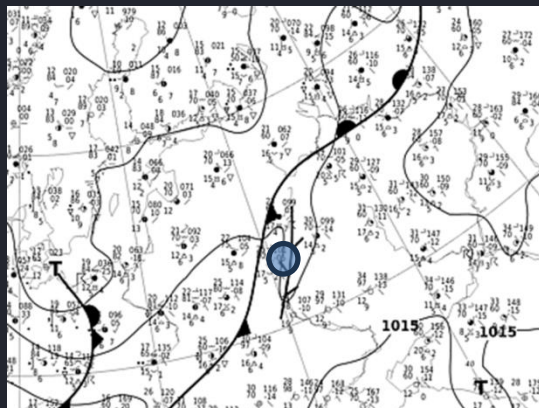
Max. Hail Diameter

8 cm

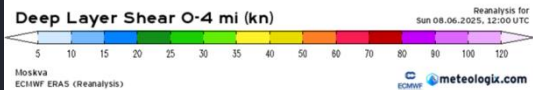
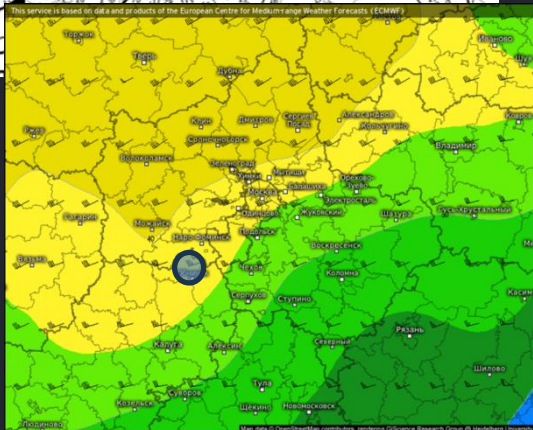
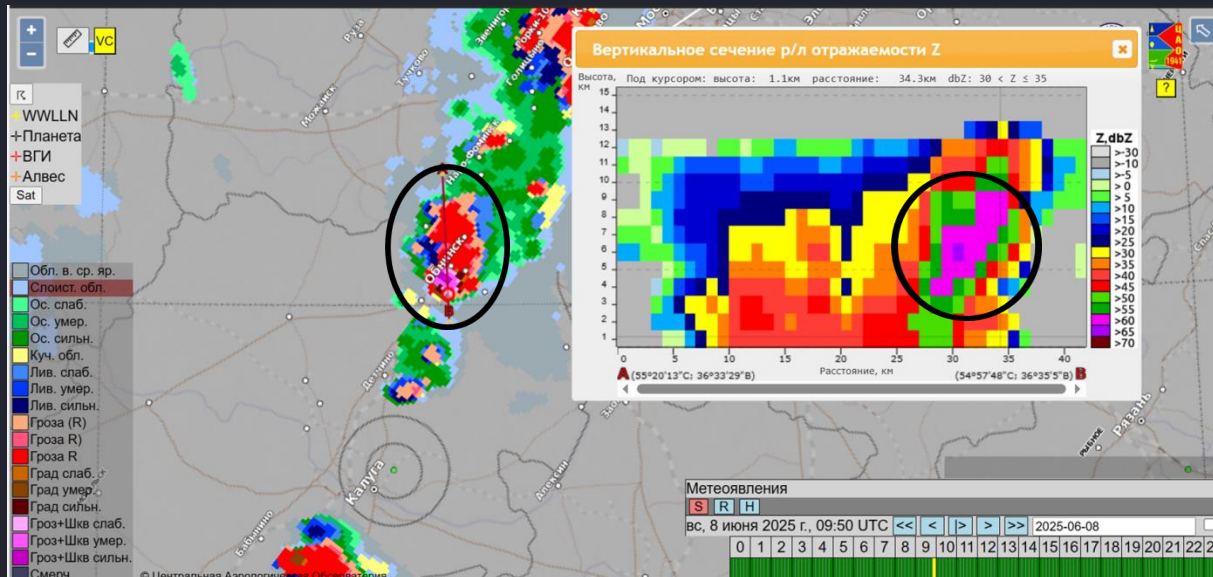
Large Hail



Синоптические условия: волна на ХФ, ЛН перед фронтом, большие сдвиги ветра (0-6 км)

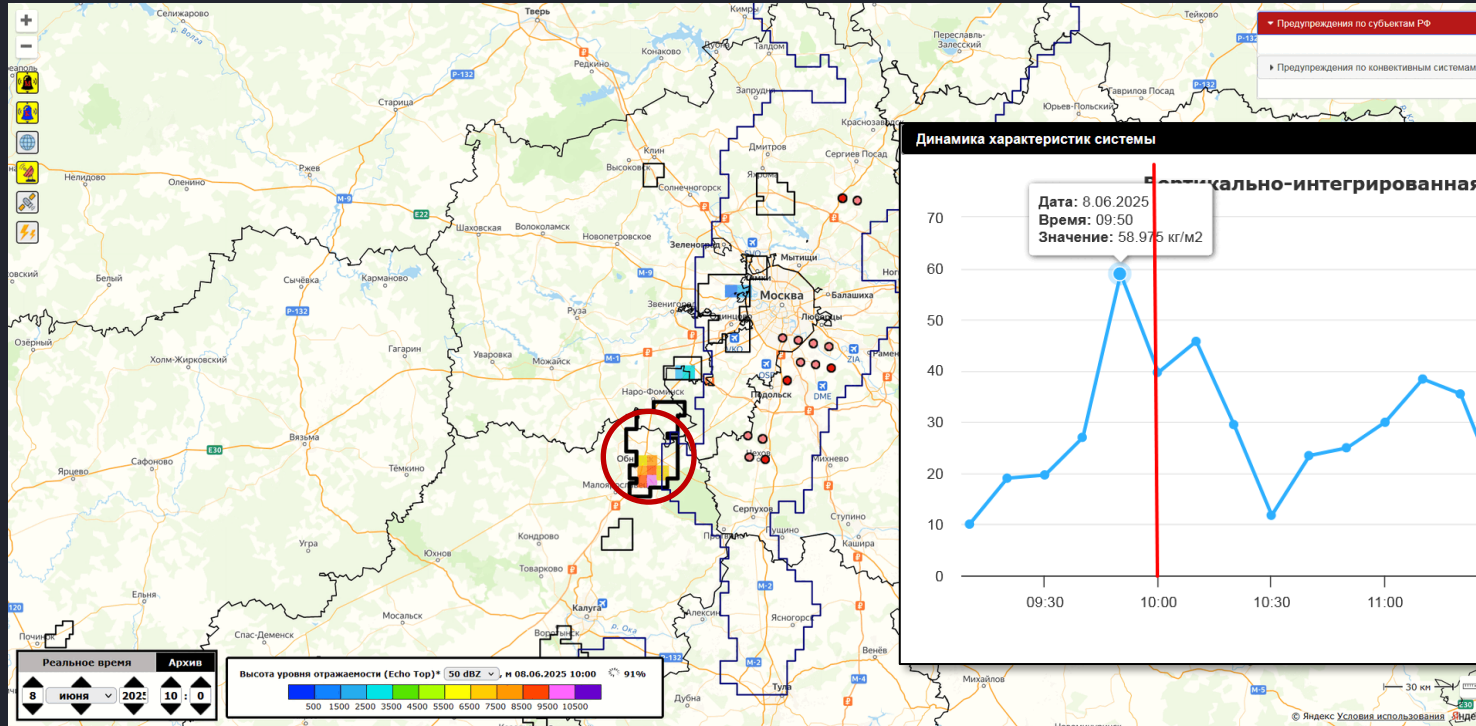


Зона очень высокой отражаемости (>60-65 dBZ) в толще доминирующего шторма на высотах 4-9 км - зона формирования крупных градин



ET 50, 55 dBZ

Временной ход :
VIL, BBGO, ET 50,
55, 60 dBZ,
Lightning Jump



Дата и время	08.06.2025 10:00	Высота ВГО	15300 м	Уровень угрозы (вар. 1)	0
ID	36	Высота Zm	8500 м	Уровень угрозы (вар. 2)	0
ID принадлежности	-1	Макс. высота z > 0	11 км	Риск града (вар. 1)	1
				Риск града (вар. 2)	0
Дата и время родителя	08.06.2025 09:50	Уровень 18 dBZ*	10500 м	Стадия развития	3
ID родителя	32	Уровень 30 dBZ*	10500 м	Стационарность зрелой стадии	3
IDs родителей	32	Уровень 45 dBZ	10500 м	Overshooting Top	-
		Уровень 50 dBZ	9500 м	Active Thermal Couplet	-
Размер по X	25.797 км	Уровень 55 dBZ	6500 м	Lightning Jump	-
Размер по Y	41.902 км	Уровень 60 dBZ*	0 м		
Объем	7078.911 км ³				

Параметры системы по данным: ДМРЛ, ГПС

				Слой	Макс. Z, dBZ	Ср. Z, dBZ	Макс. Zdr, dB	Мин. Vr, м/с	Макс. Vr, м/с	Макс. град. Vr, м/с	Мин. MARC, 1/с	Макс. MARC, 1/с	Площадь, км ²
Площадь на уровне Zm	763.397 км ²	Площадь с z > 45 dBZ	282.852 км2	0-1000:	56	8.635	1.7	-12	-8.5	3	-0.00069	0.00091	666.072
Ср. площадь по слоям	707.822 км ²	Площадь с z > 50 dBZ	155.113 км2	1000-2000:	54	40.52	3.3	-15.5	-10.5	4.5	-0.00165	0.00165	678.237
Скорость перемещения	15.643 м/с	Площадь с z > 55 dBZ	72.994 км2	2000-3000:	54	1.849	1.5	-20	-13	6	-0.0016	0.00124	644.782
Направление движения	70°	Площадь с z > 60 dBZ	0 км2	3000-4000:	56	8.975	1.2	-24	-15	6.5	-0.00174	0.00248	736.024
Долгота ц.м.	36.726°	Максимальная POSh*	39.4 %	4000-5000:	59	8.027	1.1	-27	-17	7	-0.00175	0.00264	687.361
Широта ц.м.	55.184°	Максимальный SHI*	92.1	5000-6000:	59	5.502	0.9	-27	-15	9.5	-0.00238	0.00302	714.734
Минимальная Zm	35 dBZ	Максимальный MESH*	2.4 см	6000-7000:	57	3.179	0.4	-25	-16.5	8	-0.00261	0.00281	714.734
Максимальная Zm	59 dBZ	Максимальная Z _H = 0°С*	59 dBZ	7000-8000:	54	1.538	0.1	-24.5	-15	8.5	-0.00265	0.00178	723.859
Средняя Zm	43.665 dBZ	Максимальная Z _H = -5°С*	59 dBZ	8000-9000:	52	9.366	0	-24	-13	6.5	-0.00248	0.00178	723.859
Порог Zm	35 dBZ	Максимальная Z _H = -10°С*	59 dBZ	9000-10000:	51	6.362	0.1	-23.5	-13	6	-0.00135	0.00314	748.19
Максимальная VIL	39.699 кг/м ²	Максимальная Z _H = -15°С*	57 dBZ	10000-11000:	46	2.691	-5	-409.6	-409.6	-409.6	-409.60001	-409.60001	748.19
Максимальная VILD*	3.781 г/м3	Максимальная Z _H = -20°С*	54 dBZ										
Максимальный водозапас*	27.979 кг/м2												
Максимальная VII*	811.749 кг/м2	Максимальная ET50 - H ₂₀ °С*	2174 м										
Максимальная W	39.142 м/с	Максимальная ET60 - H ₂₀ °С*	0 м										
Макс. интен. осадков	115.2 мм/ч	Максимальная ET50 - H ₀ °С*	5088 м										
Макс. сумма осадков (1ч)	24.66 мм	Максимальная ET60 - H ₀ °С*	0 м										
Приращение Z1	8 dBZ	Максимальная ET45 - H ₀ °С*	6088 м										
Макс. код метеоявлений	шквал сильный (18)												
Частота молн. вспышек	10.9 всп./мин	Максимальное	-32768										
Макс. плот. молн. вспышек	0.164 всп./((мин*км ²))	90-ый процентиль	-32768										
Доля пол. молн. вспышек	49.541%	Минимальное	-32768										
		10-ый процентиль	-32768										
		Среднее	-32768										

Методы диагностирования града по МРЛ (новые параметры, рассчитываемые и визуализируемые в Веб-ГИС):
Вероятность крупного града POSH (основанный на SHI – индекс крупного града),
Максимальный оцениваемый размер града MESH

Метод SHI и POSH: SHI основан на полуэмпирическом соотношении между потоком кинетической энергии градин и отражательной способностью радара, рассчитывается путем вертикального интегрирования потока кинетической энергии, взвешенного с помощью весовых функций $W(Z)$ на основе отражательной способности и $WT(H)$ на основе температуры (Witt et al., 1998):

$$\dot{E} = 5 \times 10^{-6} \times 10^{0.084Z} \quad SHI = 0.1 \int_{H_0}^{H_E} W_T(H) W(Z) \dot{E} dH,$$

POSH – вероятность сильного града определяется из SHI и порогового значения предупреждения WT. Значение WT рассчитывается из высоты уровня замерзания с использованием эмпирического соотношения $WT = 57.5H_0 - 121$, if $WT < 20$ then $WT = 20$.

$$POSH = 29 \ln \left(\frac{SHI}{WT} \right) + 50$$

Probability of Severe Hail (POSH):

Этот параметр оценивает вероятность выпадения крупного града (диаметром более 2 см).

Основан на следующих предикторах:

- Высота максимальной отражаемости (H_{max}).
- Значения отражаемости (Z) на различных уровнях.
- Температура окружающей среды.

POSH выражается в процентах, где высокие значения указывают на повышенную вероятность крупного града.

Severe Hail Index (SHI):

SHI — это числовой индекс, который учитывает:

- Отражаемость (Z) выше уровня замерзания.
- Высоту зоны максимальной отражаемости (H_{max}).
- Интенсивность восходящих потоков.

SHI часто используется для оценки потенциала сильного града в суперячейках.

Maximum Estimated Size of Hail (MESH):

MESH — это параметр, который оценивает максимальный размер града на основе отражаемости и температурного профиля.

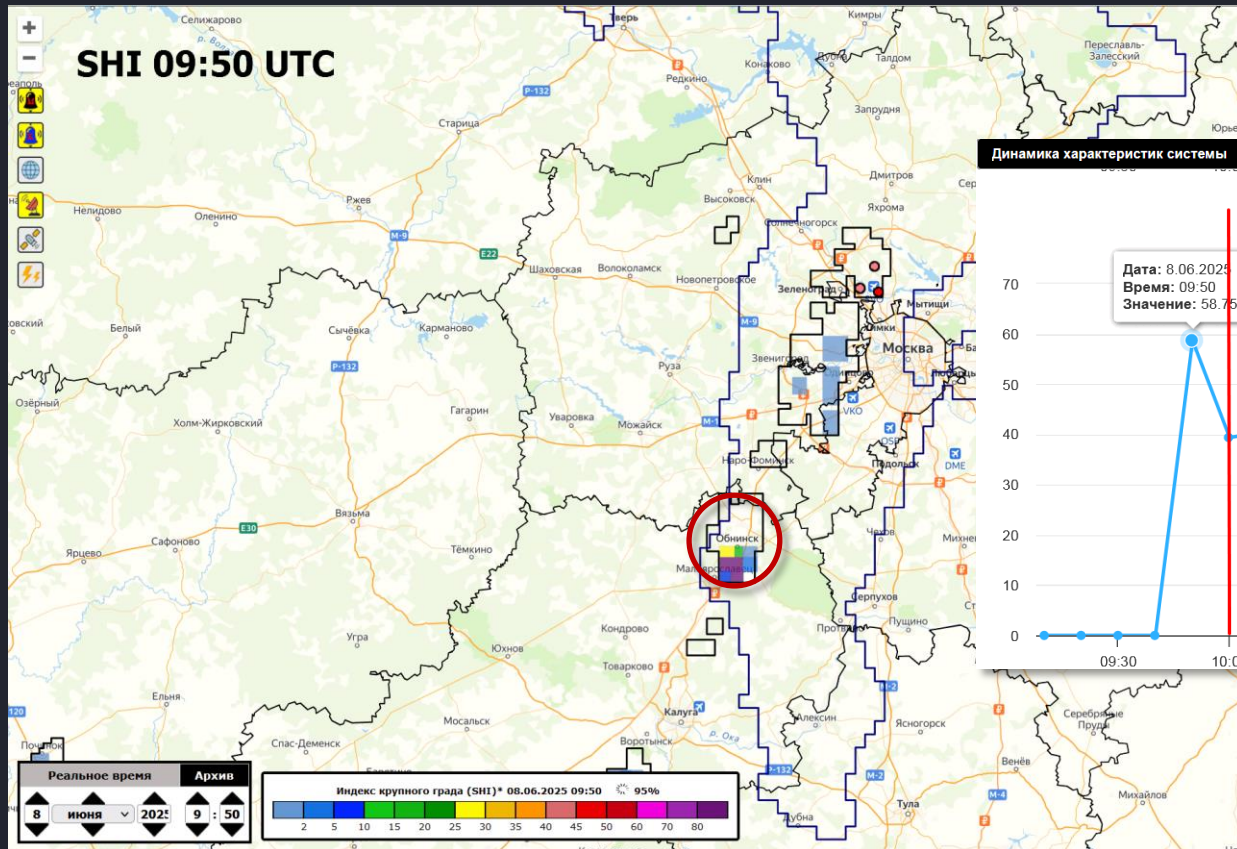
Алгоритм использует:

- Значения отражаемости в вертикальном профиле.
- Температуру на уровне максимальной отражаемости.

Результат выражается в миллиметрах (диаметр градин).

$$D = k \cdot Z^a \cdot T^b$$

Индексы града: SHI, MESH



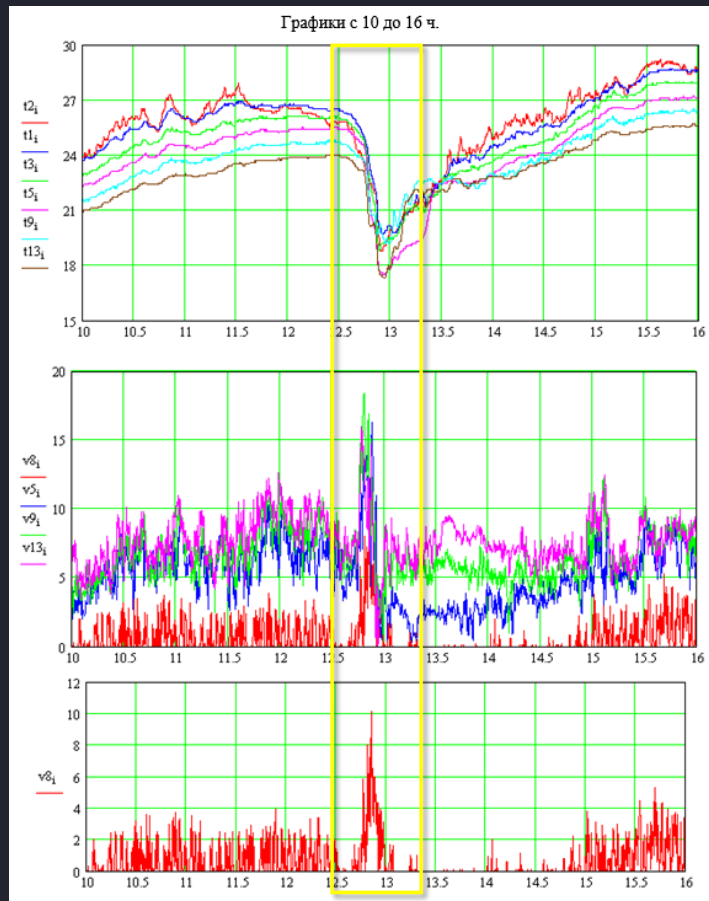
Временной ход

Динамика характеристик системы

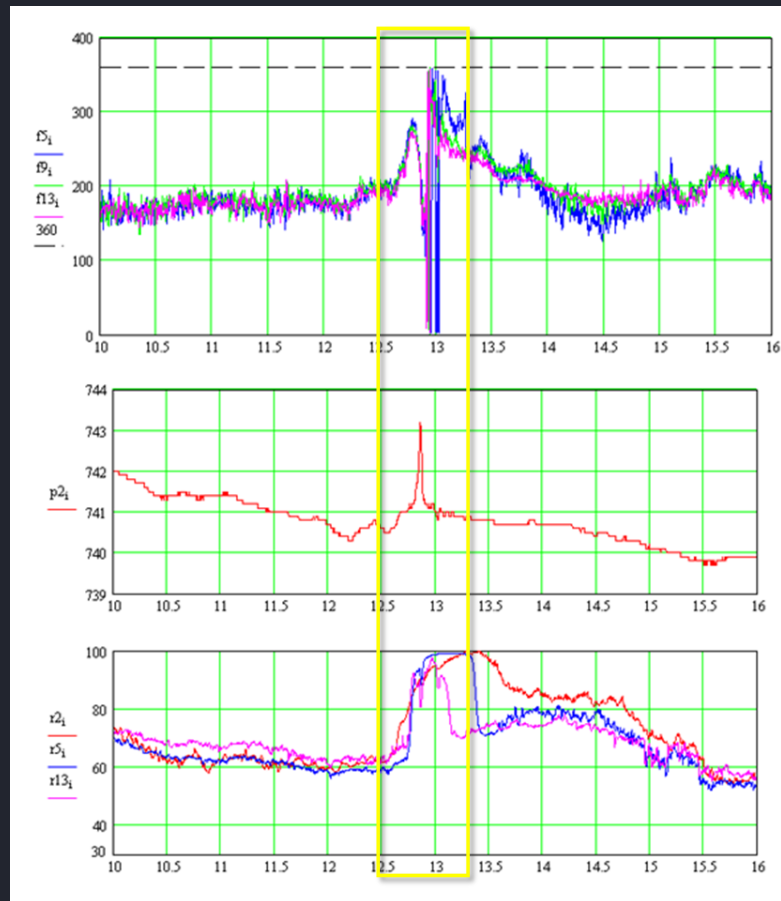


Данные ВММ + наземный полигон: изменения во время града

Температура, скорость ветра



Направление ветра, давление, влажность



Индексы (WRF): на 10 ч UTC

...

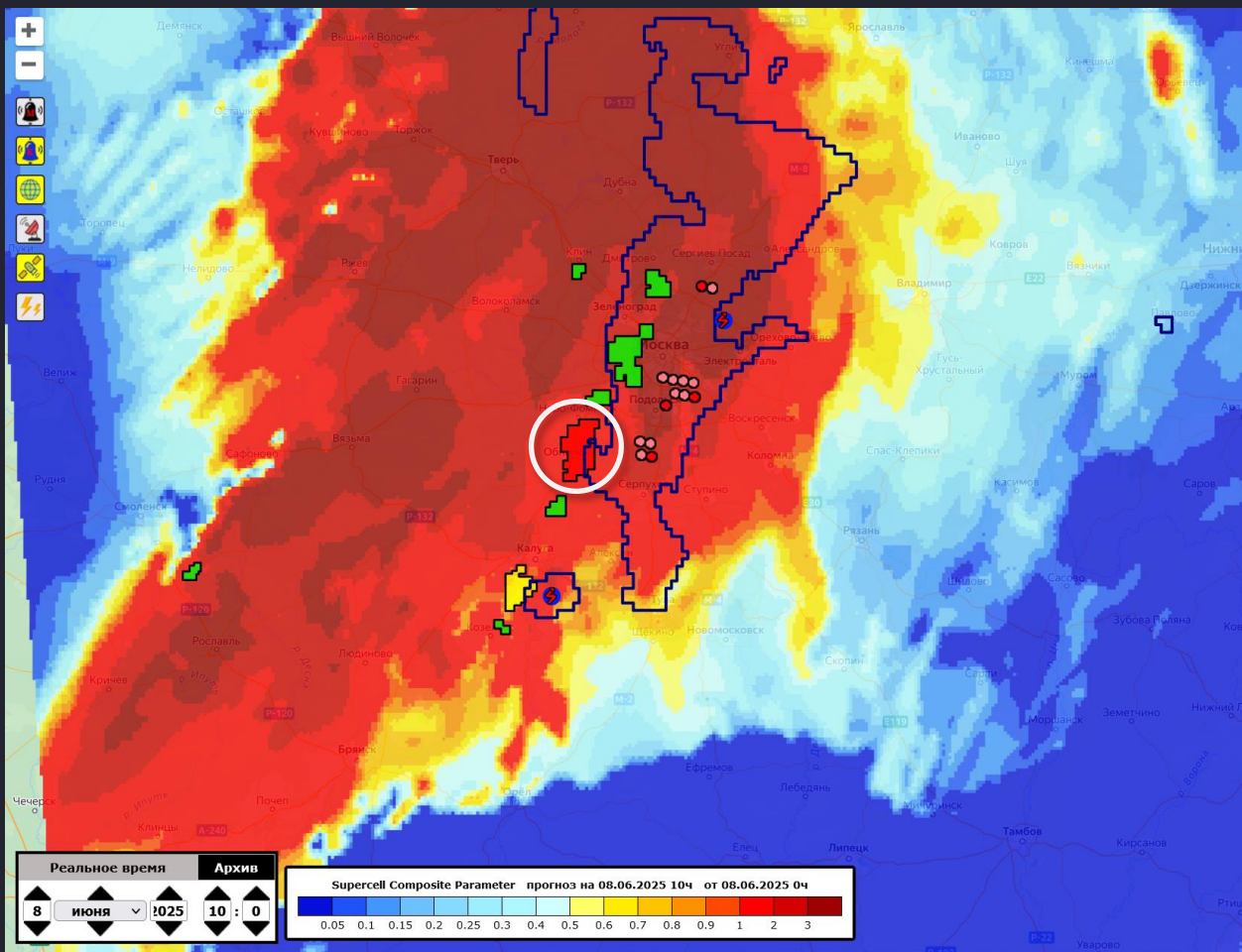
SCP

UH

SHIP

DLS

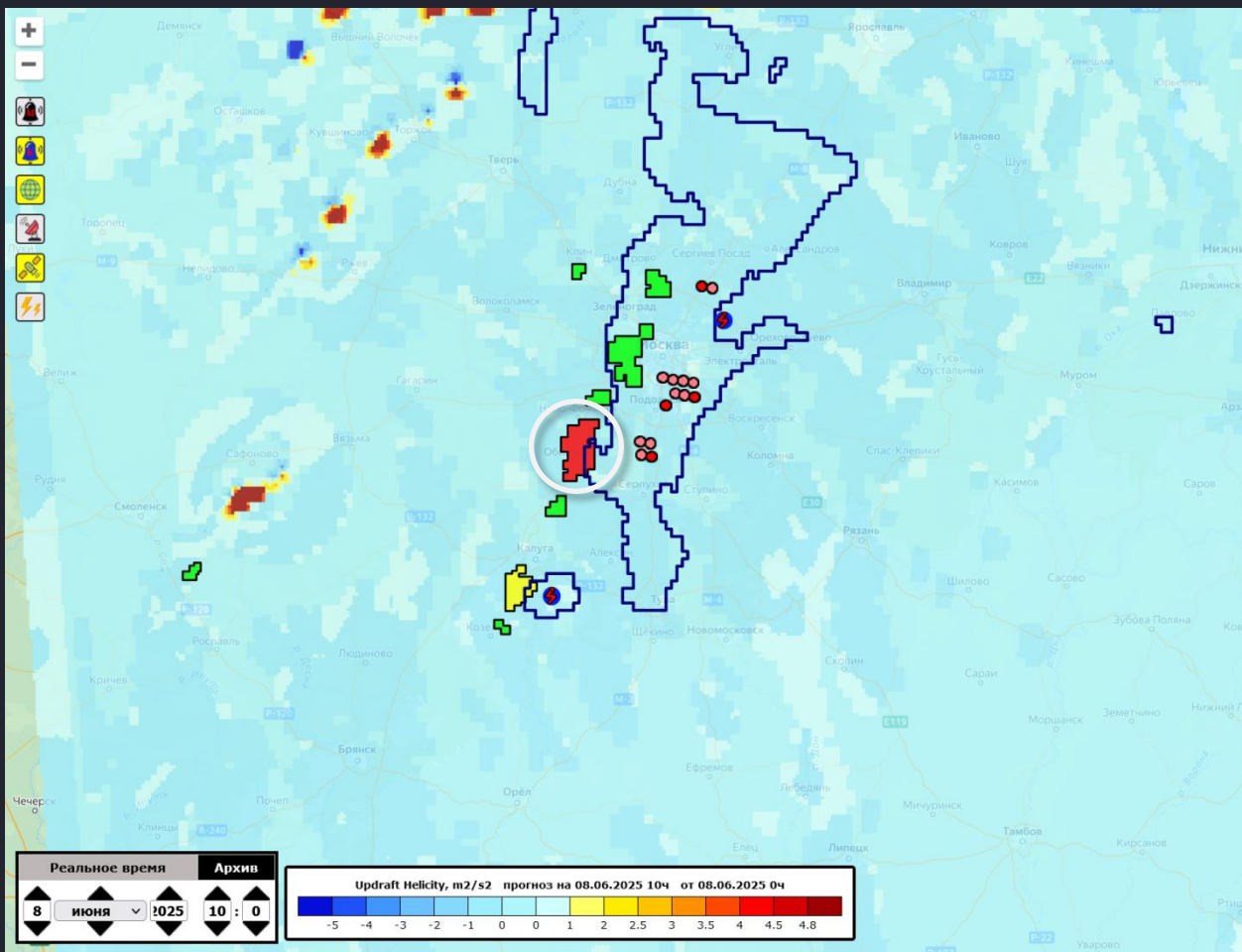
LI



Индексы (WRF): на 10 ч UTC

...

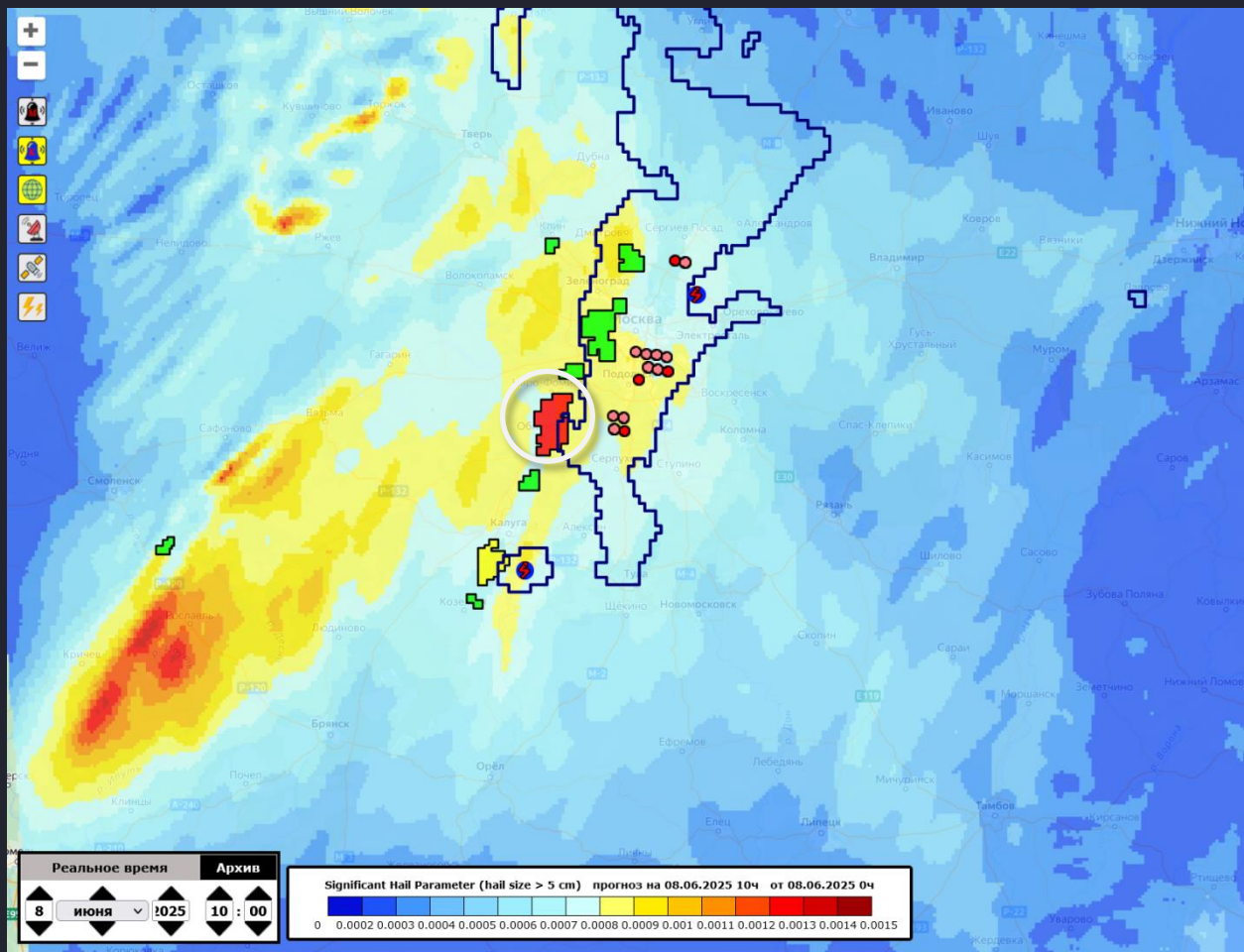
SCP
UH
SHIP
DLS
LI



Индексы (WRF): на 10 ч UTC

...

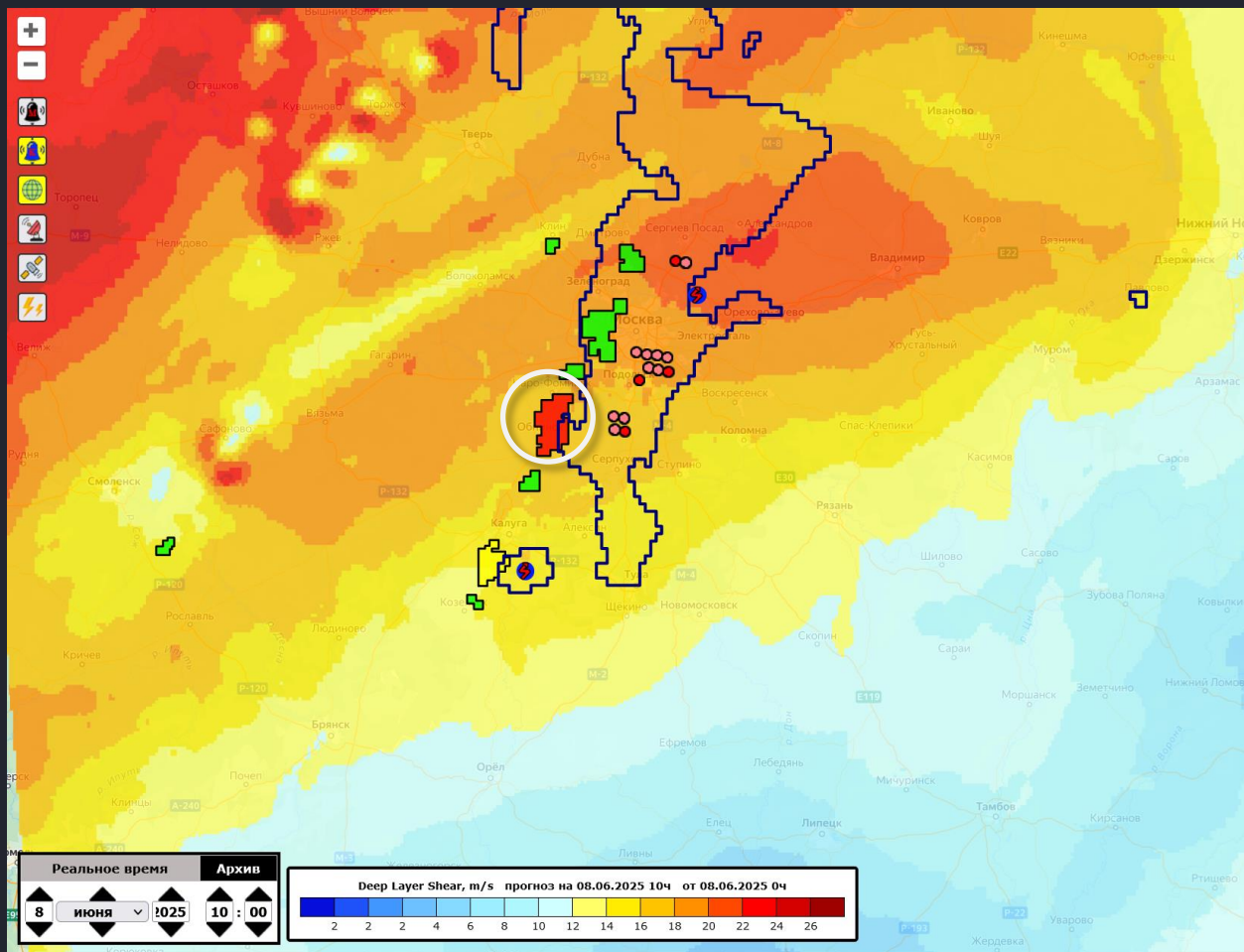
SCP
UH
SHIP
DLS
LI



Индексы (WRF): на 10 ч UTC

...

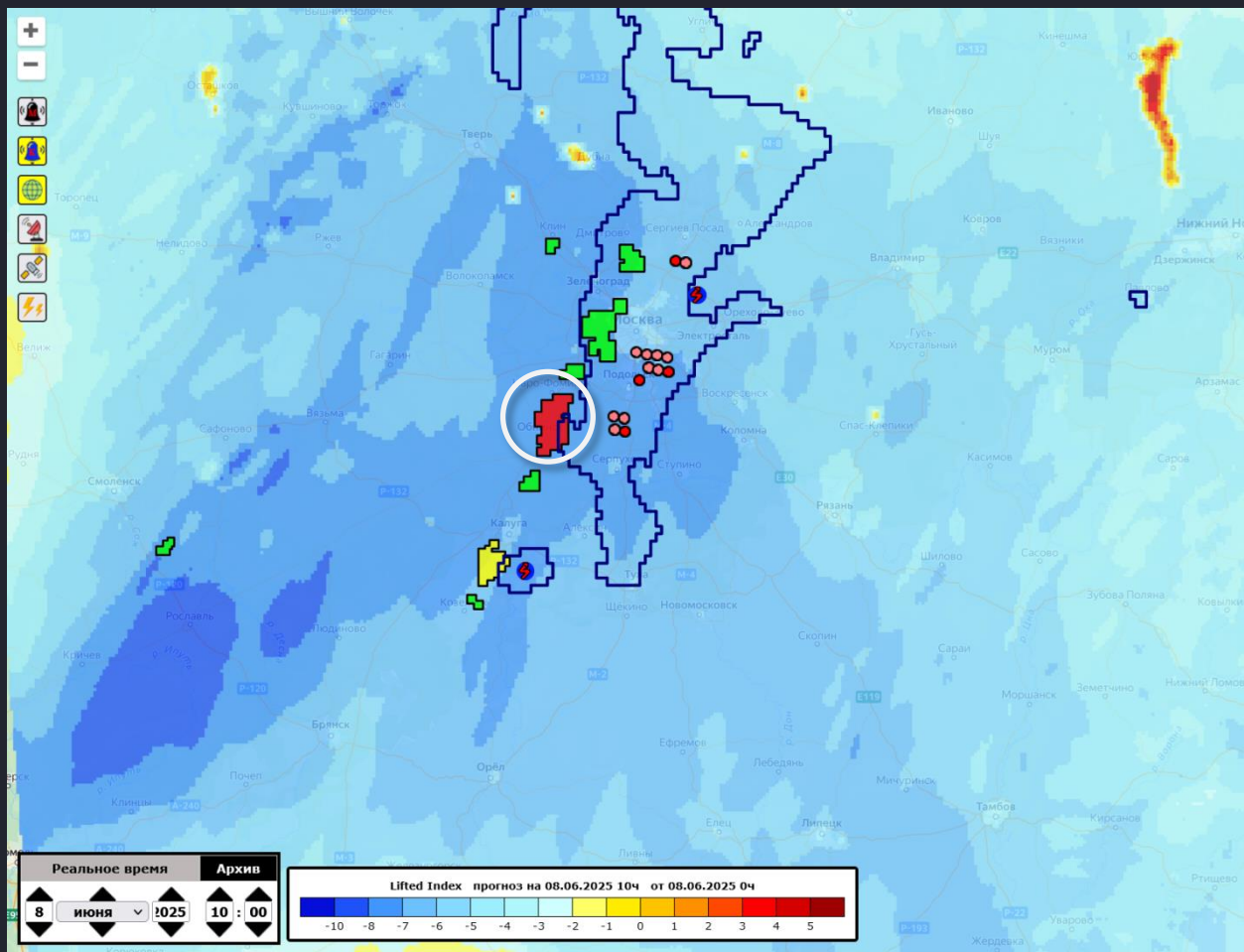
SCP
UH
SHIP
DLS
LI



Индексы (WRF): на 10 ч UTC

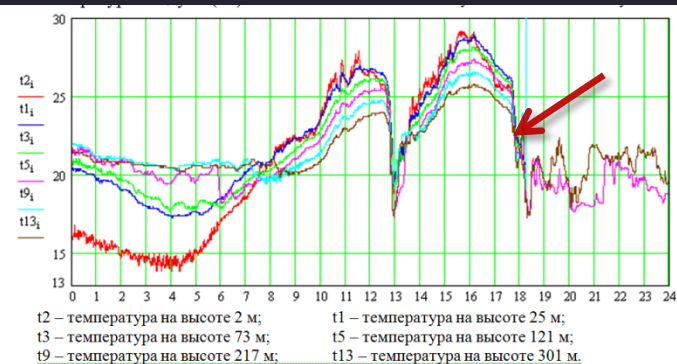
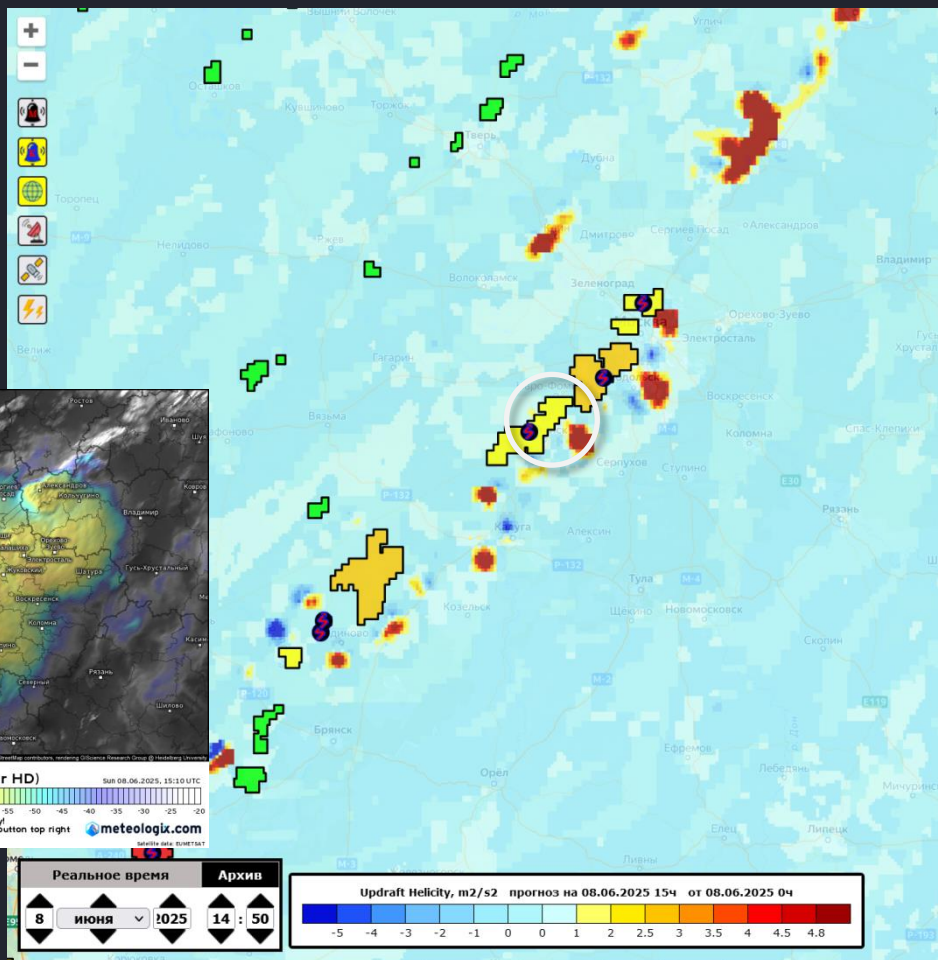
...

SCP
UH
SHIP
DLS
LI

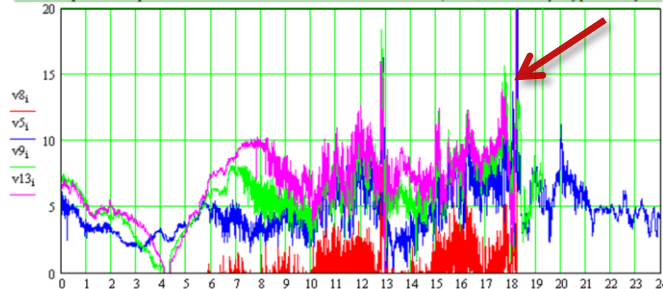


... и на 15 ч UTC: прохождение ХФ: 2й шквал

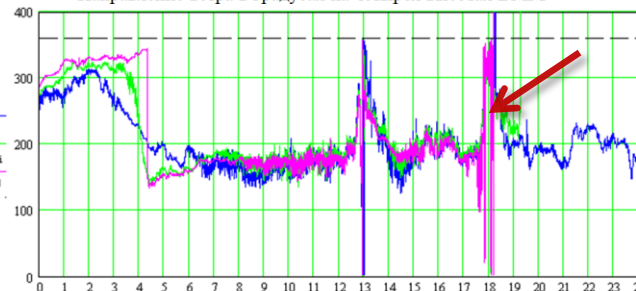
UH
SCS
Max dBZ
WDP



Скорость ветра (м/с) на четырех высотах.
 v_8 — скорость ветра на высоте 8 м. Остальные высоты те же, что для температуры воздуха.

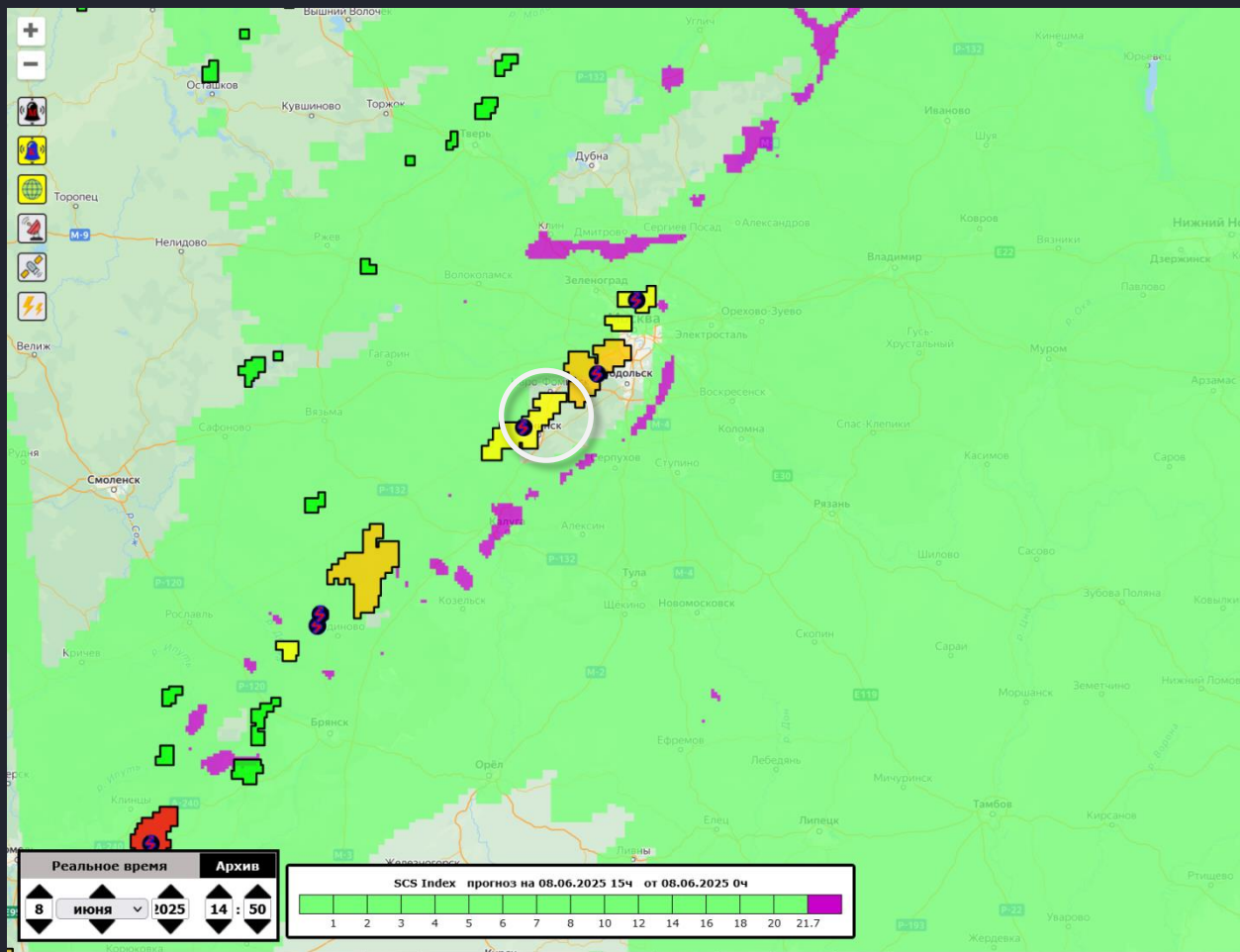


Направление ветра в градусах на четырех высотах BMM



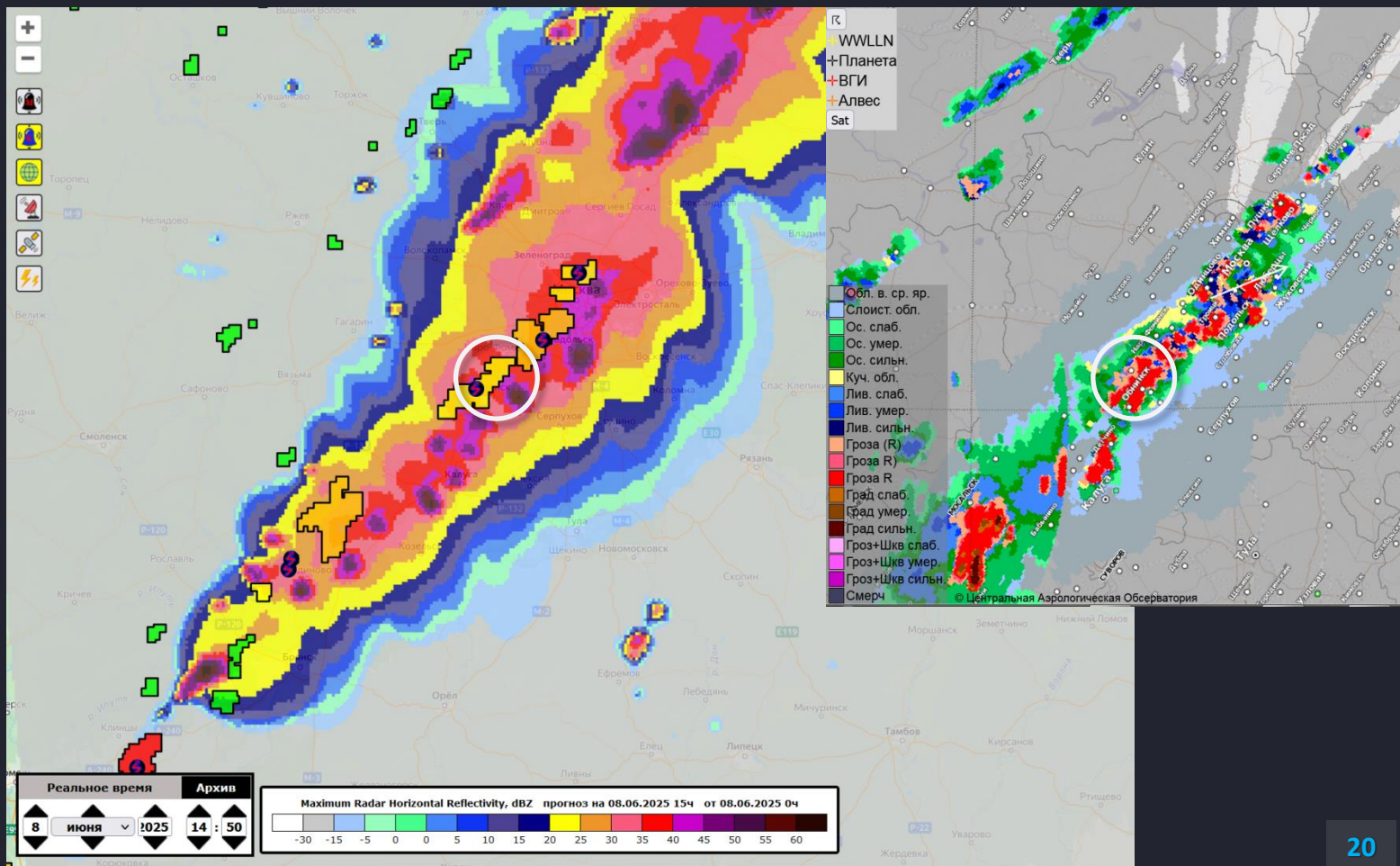
... и на 15 ч UTC

UH
SCS
Max dBZ
WDP



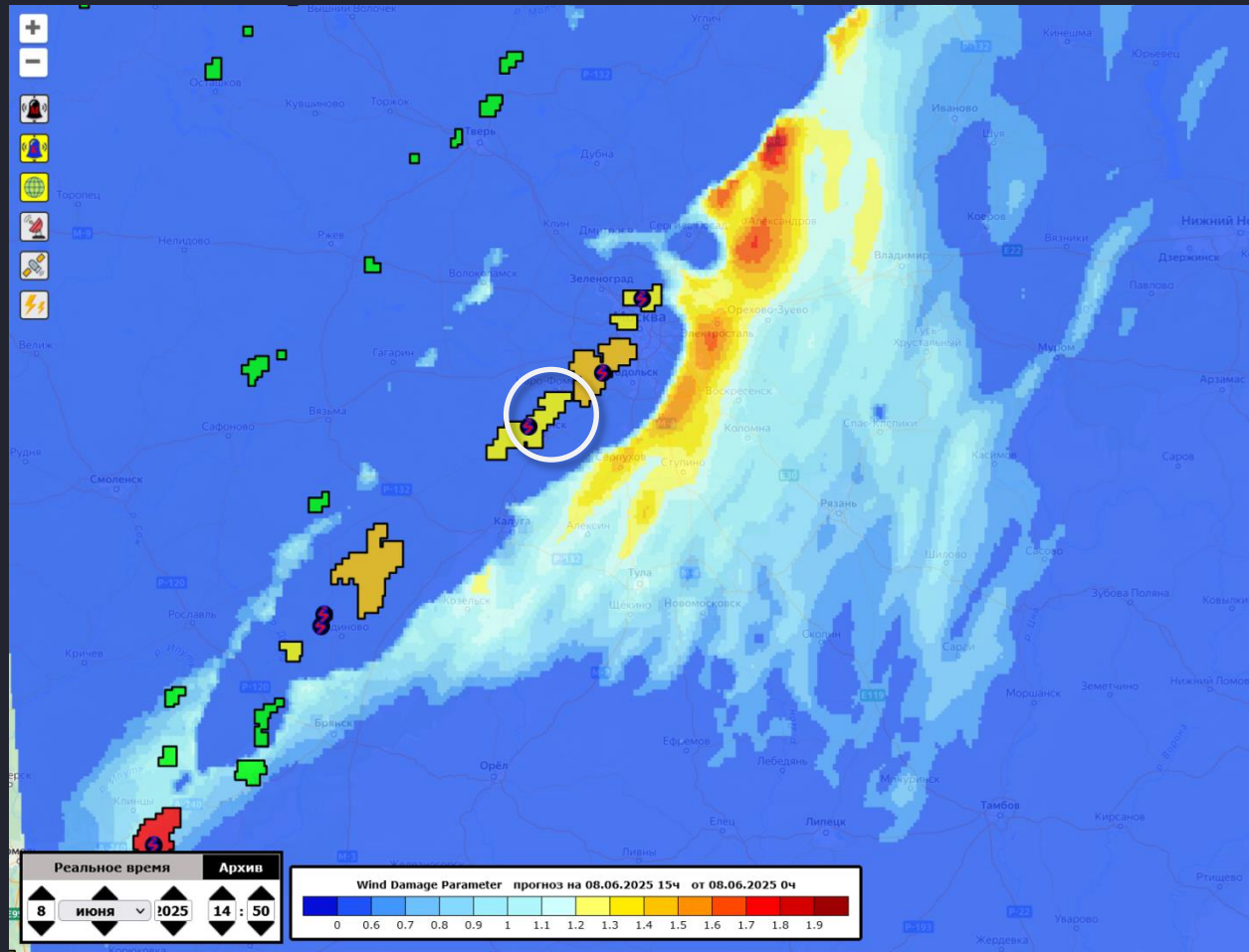
... и на 15 ч UTC

UH
SCS
Max dBZ
WDP



... и на 15 ч UTC

UH
SCS
Max dBZ
WDP



26 июля 2025 г. 11-12 ч UTC ОЯ: сильный ливень: > 50 мм/ 1 час

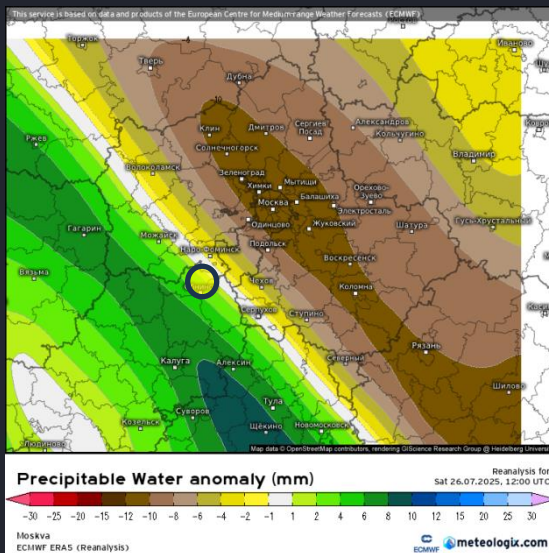
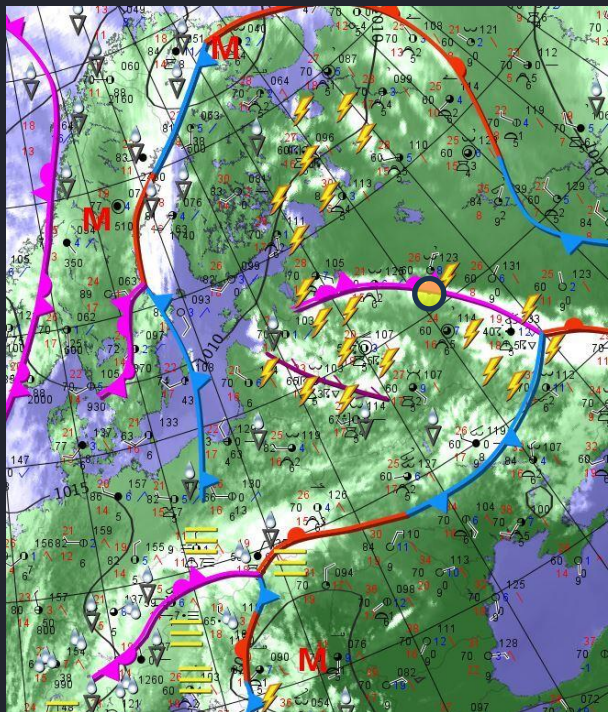


Данные (10-мин) АМС (полигон ВММ)

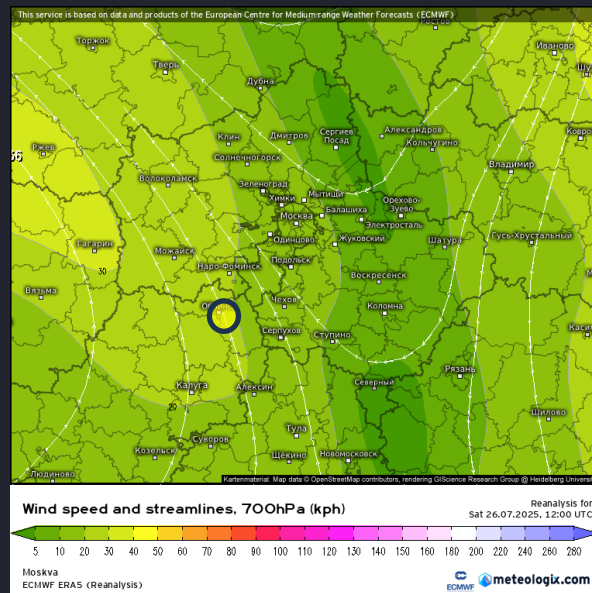
Время	T, °C	P, мм.рт.ст.	R, мм	RR, мм/ч
14:10	23,6	741,9	0,0	0,0
14:20	23,1	741,9	5,1	104,8
14:30	22,0	741,7	16,8	125,2
14:40	20,0	741,7	17,1	110,8
14:50	19,4	741,7	11,4	102,8
15:00	18,8	742,5	15,2	99,4
15:10	18,4	742,5	14,2	101,0
15:20	18,2	742,4	2,5	33,0
15:30	18,3	742,1	0,4	3,8
15:40	18,6	742,1	0,2	2,6
15:50	18,8	742,1	0,0	0,0



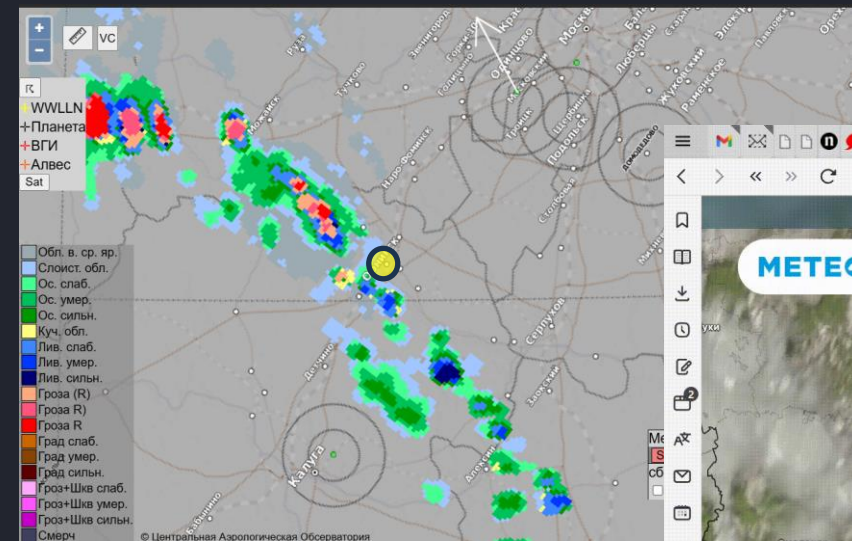
Линейная конвективная система (на ФО) – через Обнинск.
! Фронт на границе раздела влажной и очень сухой ВМ («сухая линия»)



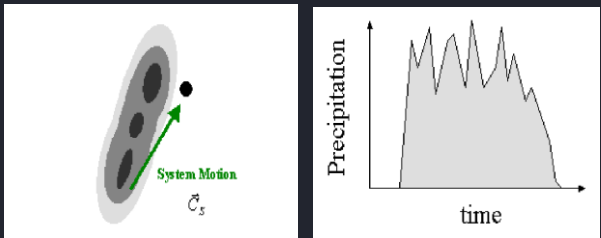
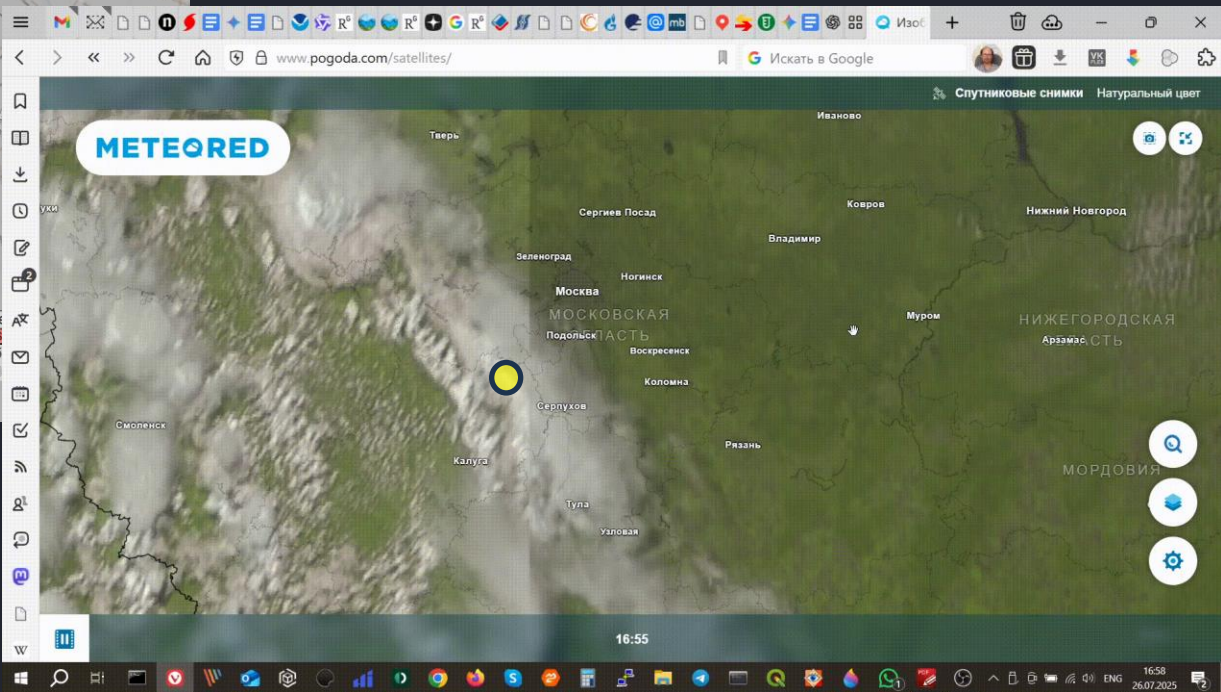
! Слабый ведущий поток (ЮЮВ, 20 км/ч)



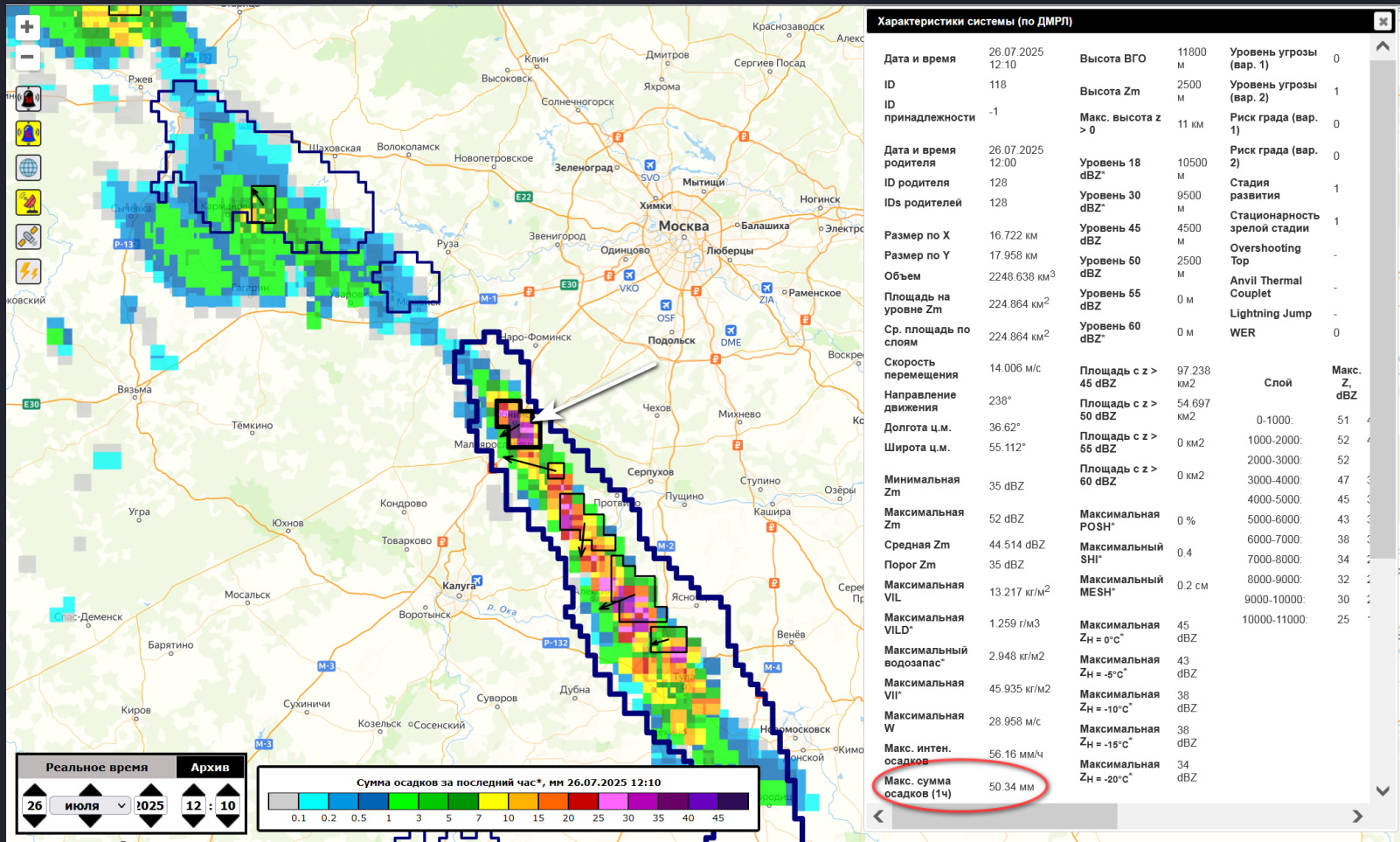
Train effect – последовательное прохождение через пункт наблюдения растущих активных конвективных очагов вдоль малоподвижной линейной МКС.



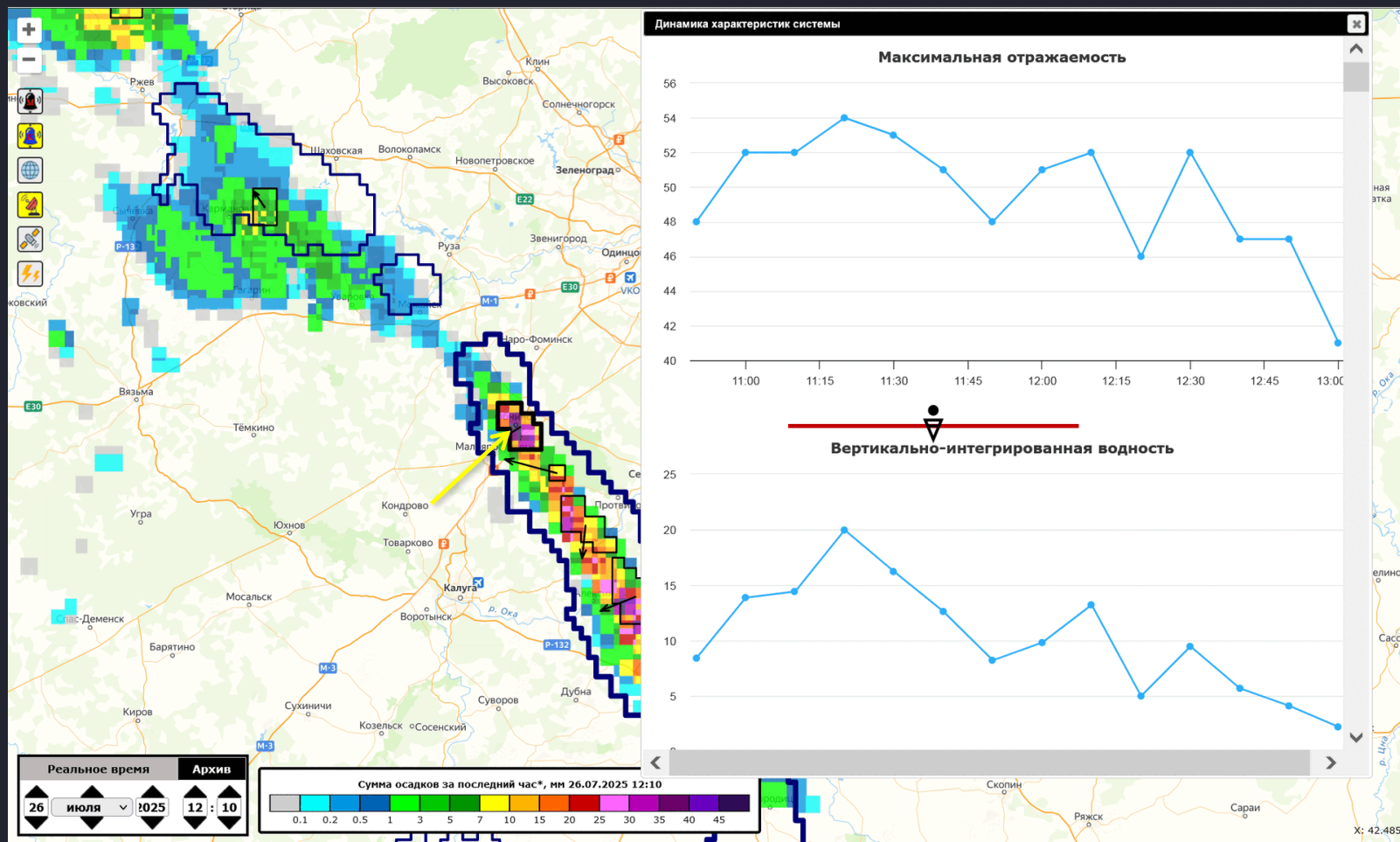
Эволюционное приращение – противоположно вектору смещения



Сумма осадков за 1 час по данным ДМРЛ - хорошая корреляция !

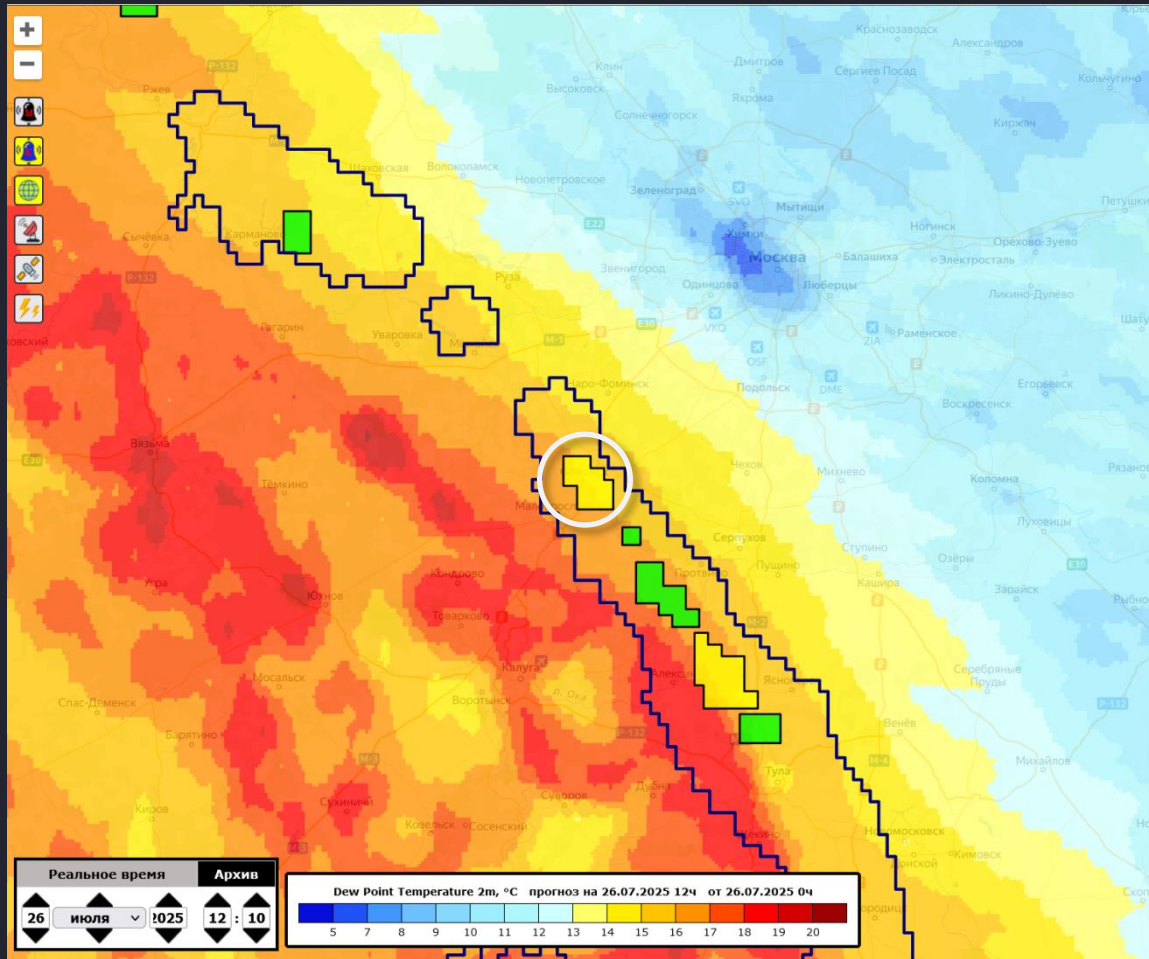


Динамика параметров



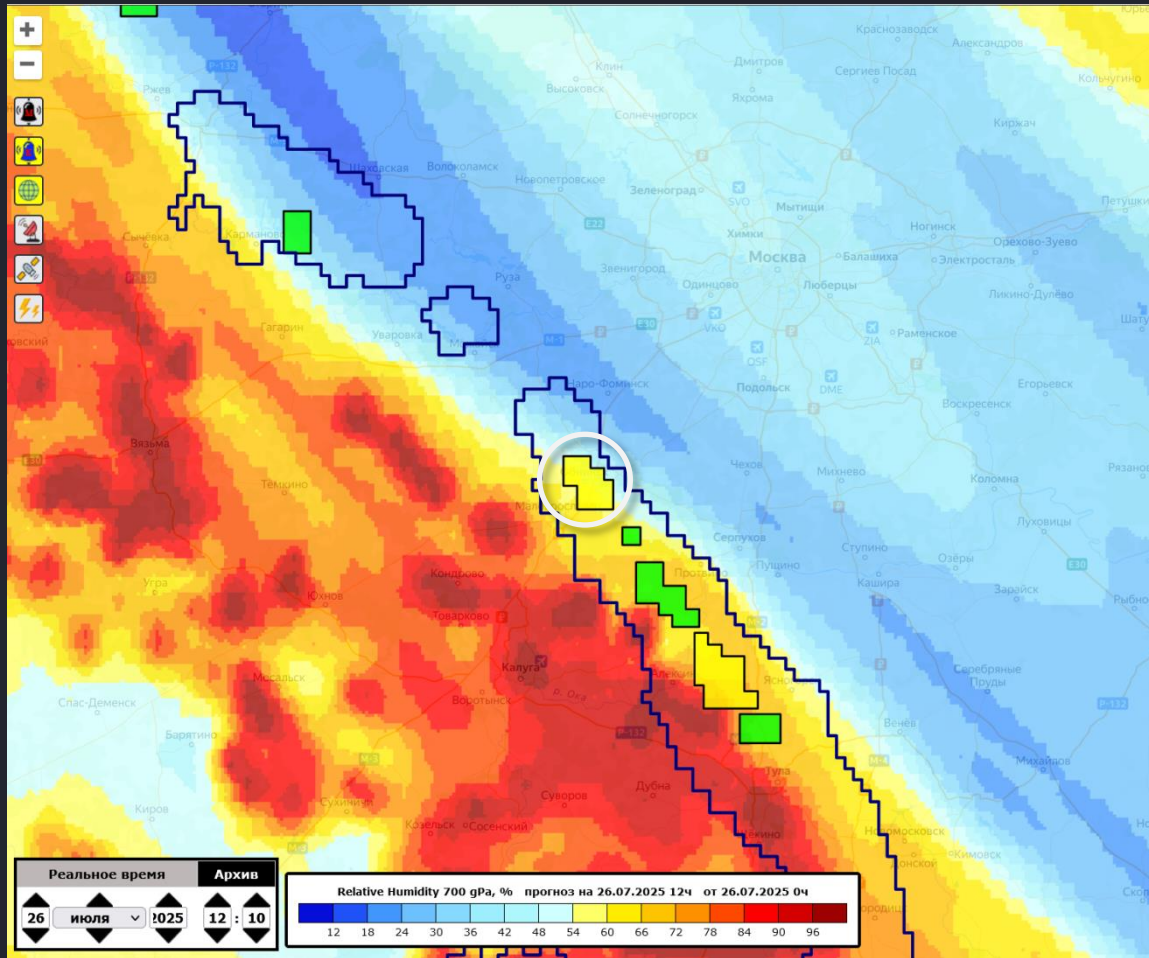
Модельные параметры (WRF) на 12 UTC

Dew point
RH 700 hPa
Max dBZ
VIMFC
SSI



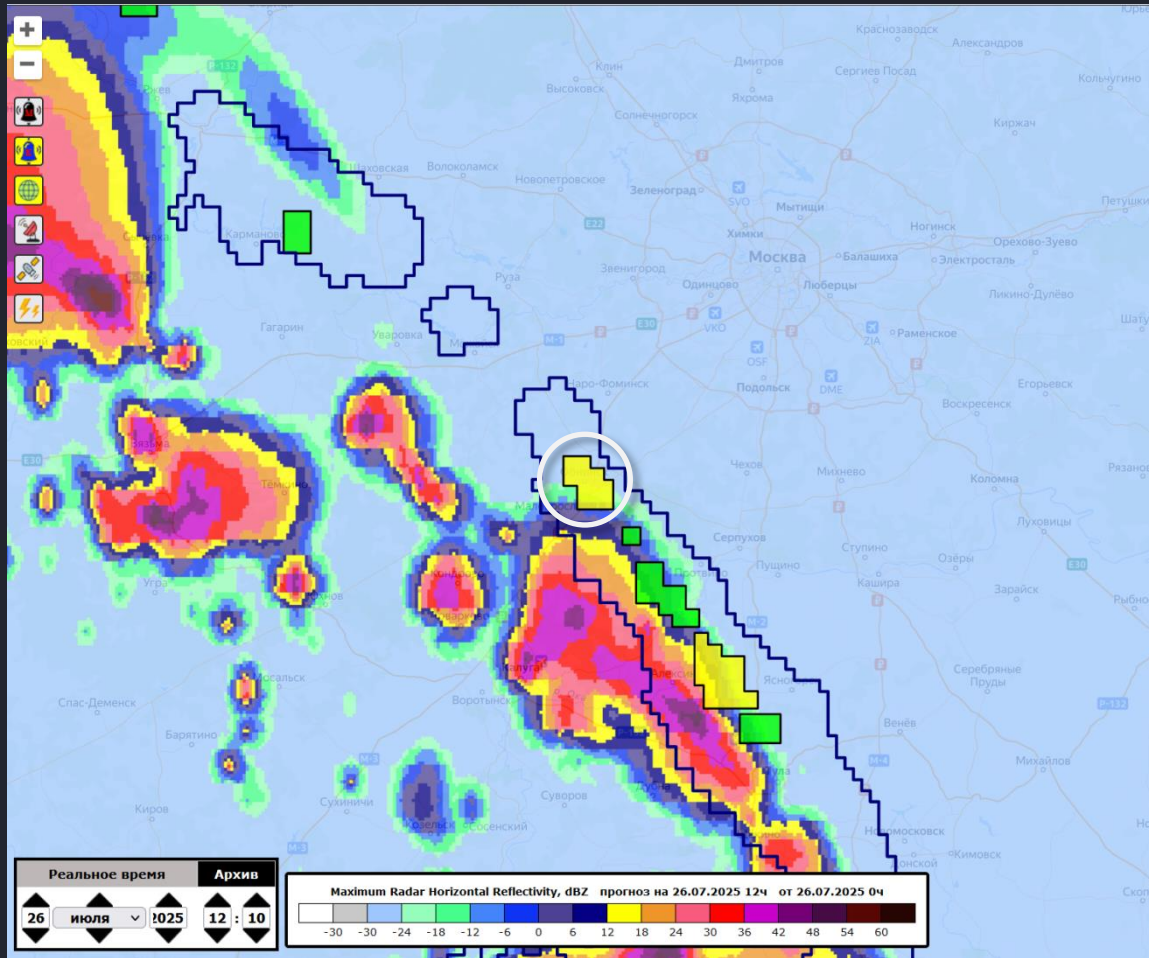
Модельные параметры (WRF) на 12 UTC

Dew point
RH 700 hPa
Max dBZ
VIMFC
SSI



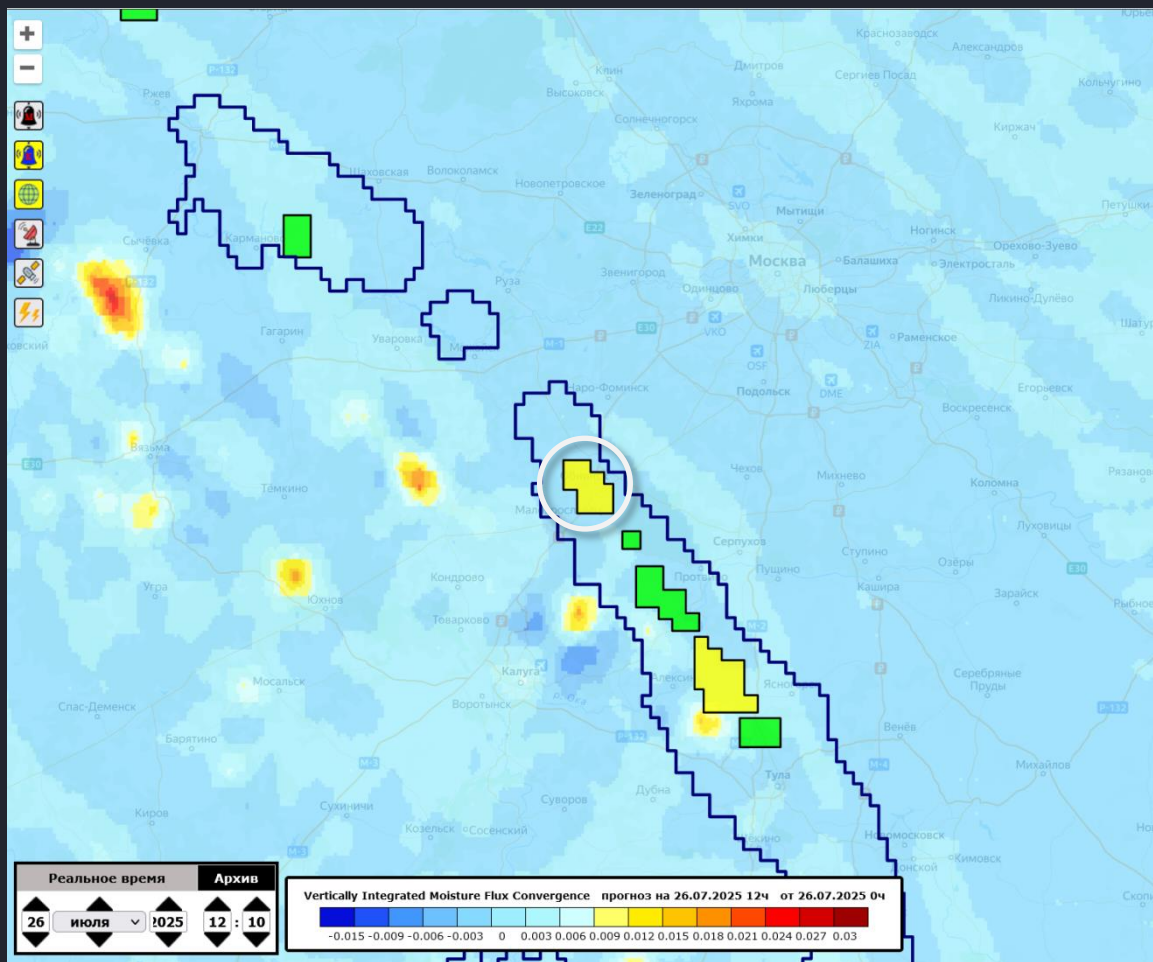
Модельные параметры (WRF) на 12 UTC

Dew point
RH 700 hPa
Max dBZ
VIMFC
SSI



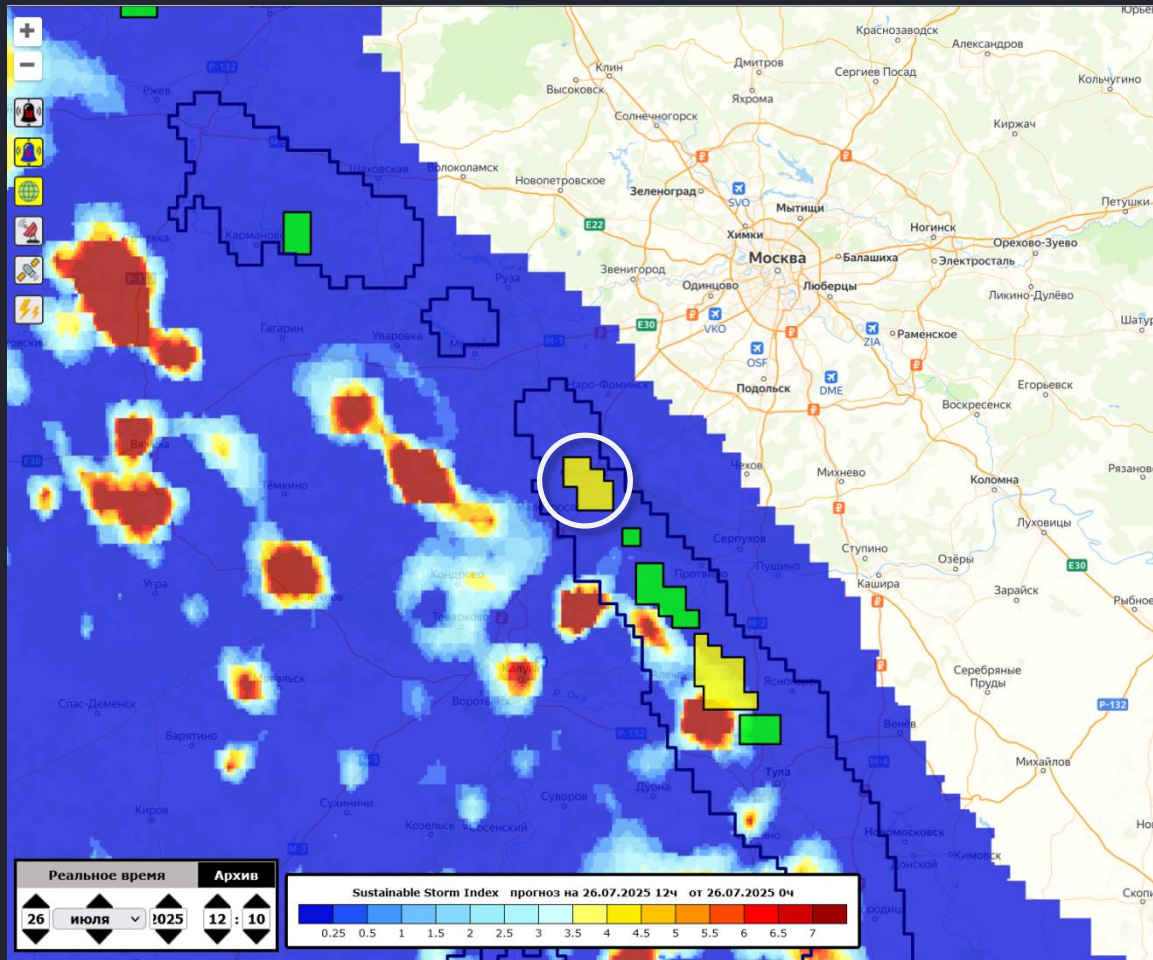
Модельные параметры (WRF) на 12 UTC

Dew point
RH 700 hPa
Max dBZ
VIMFC
SSI



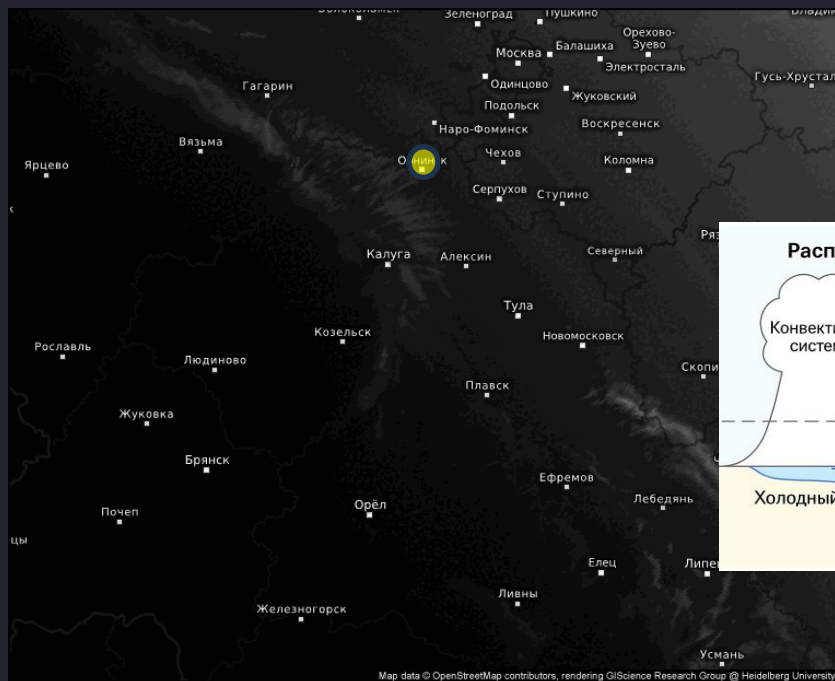
Модельные параметры (WRF) на 12 UTC

Dew point
RH 700 hPa
Max dBZ
VIMFC
SSI



События до...

Утром, 06:00 – 06:45 МСК – гравитационные волны: T, ветер (v и D) по данным ВММ (на всех высотах). Период порядка 4-8 мин Предположительно – от взаимодействия оттока от МКС с границей инверсии



Satellite Visible (Super HD)

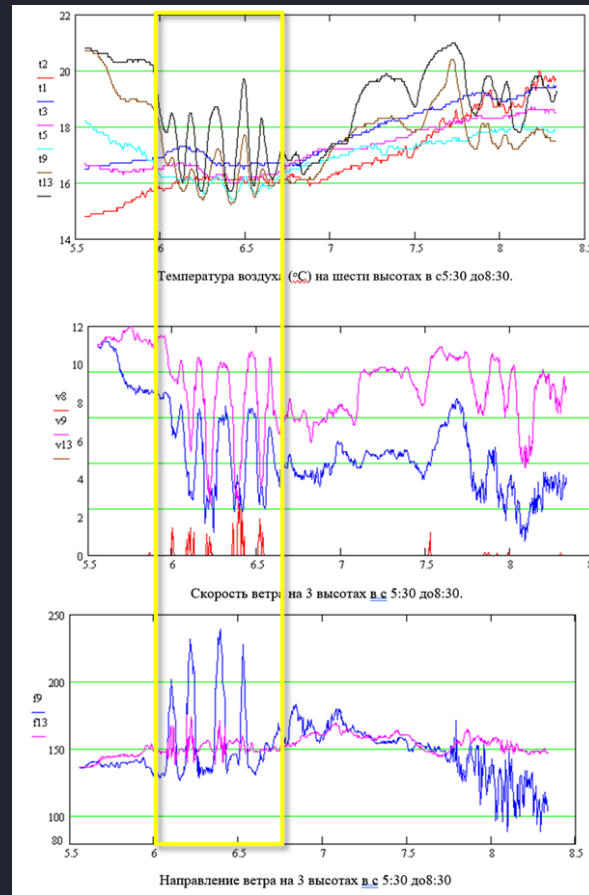
Sat 26.07.2025, 01:20 UTC

© Kachelmann GmbH - Download for private use only!
Sharing: Please get the pic's permalink from share button top right

Grid map 36.6 E, 54.0 N (Zoom level 3 / Resolution 750m)

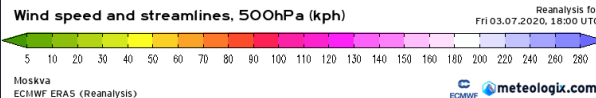
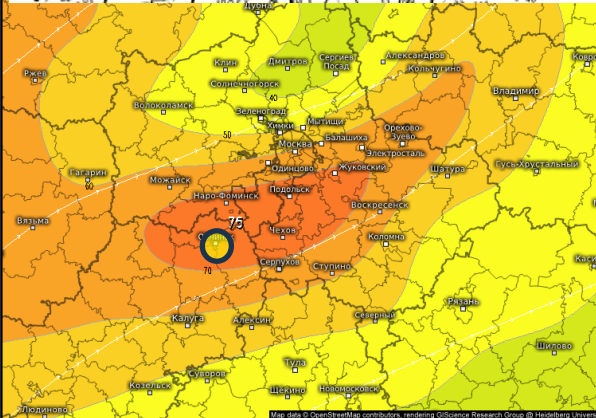
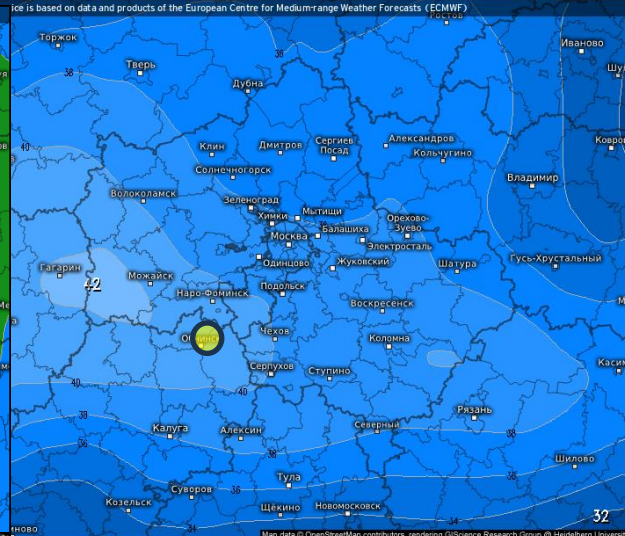
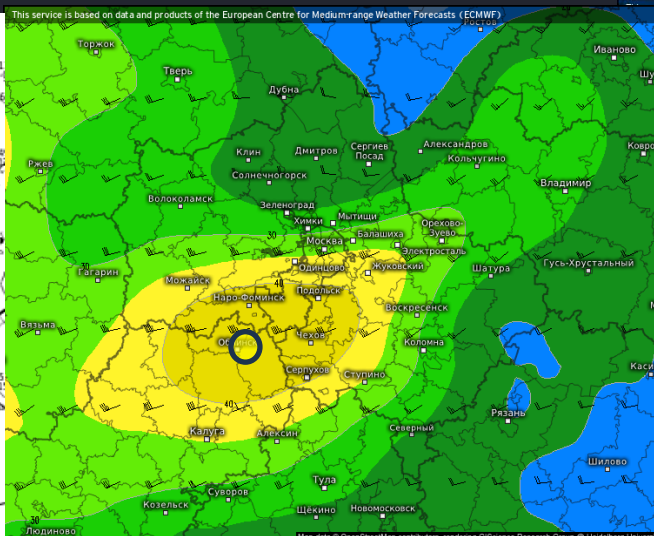
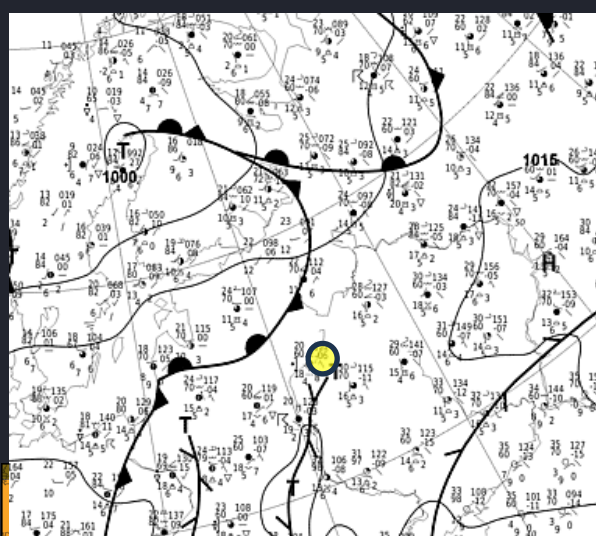
meteologix.com

Satellite data: EUMETSAT

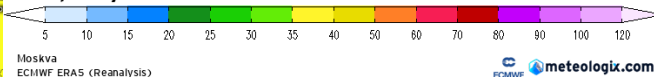


**Ураган разметал по улице в
Обнинске утеплитель с
новостройки**

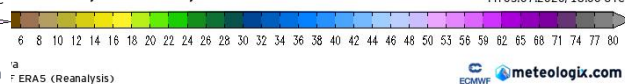




Deep Layer Shear O-4 mi (kn)

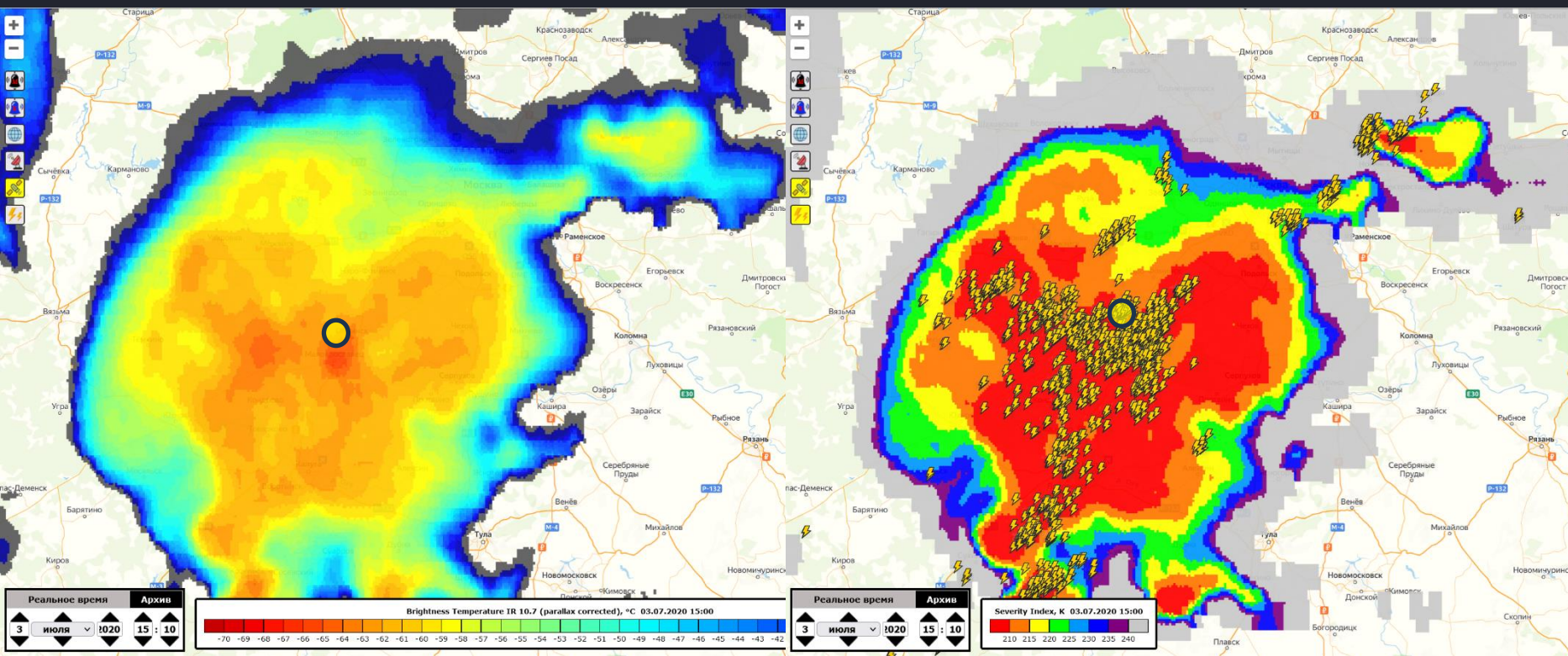


Precipitable Water (mm)

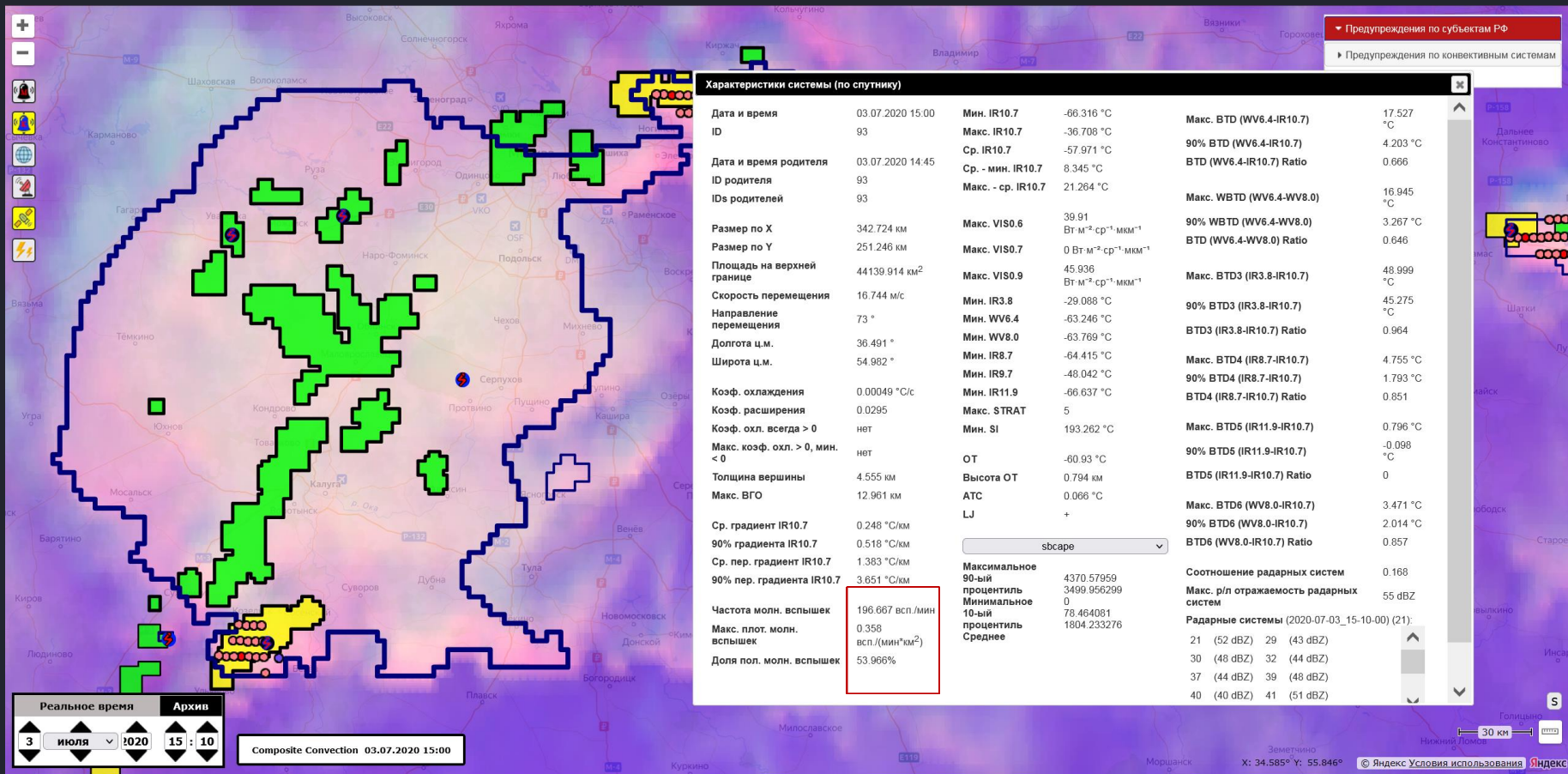


- Линия неустойчивости в теплом секторе
- Адвекция тепла
- Высокие скорости в средней тропосфере
- Большие сдвиги ветра в слое до 6 км
- Высокое общее влагосодержание

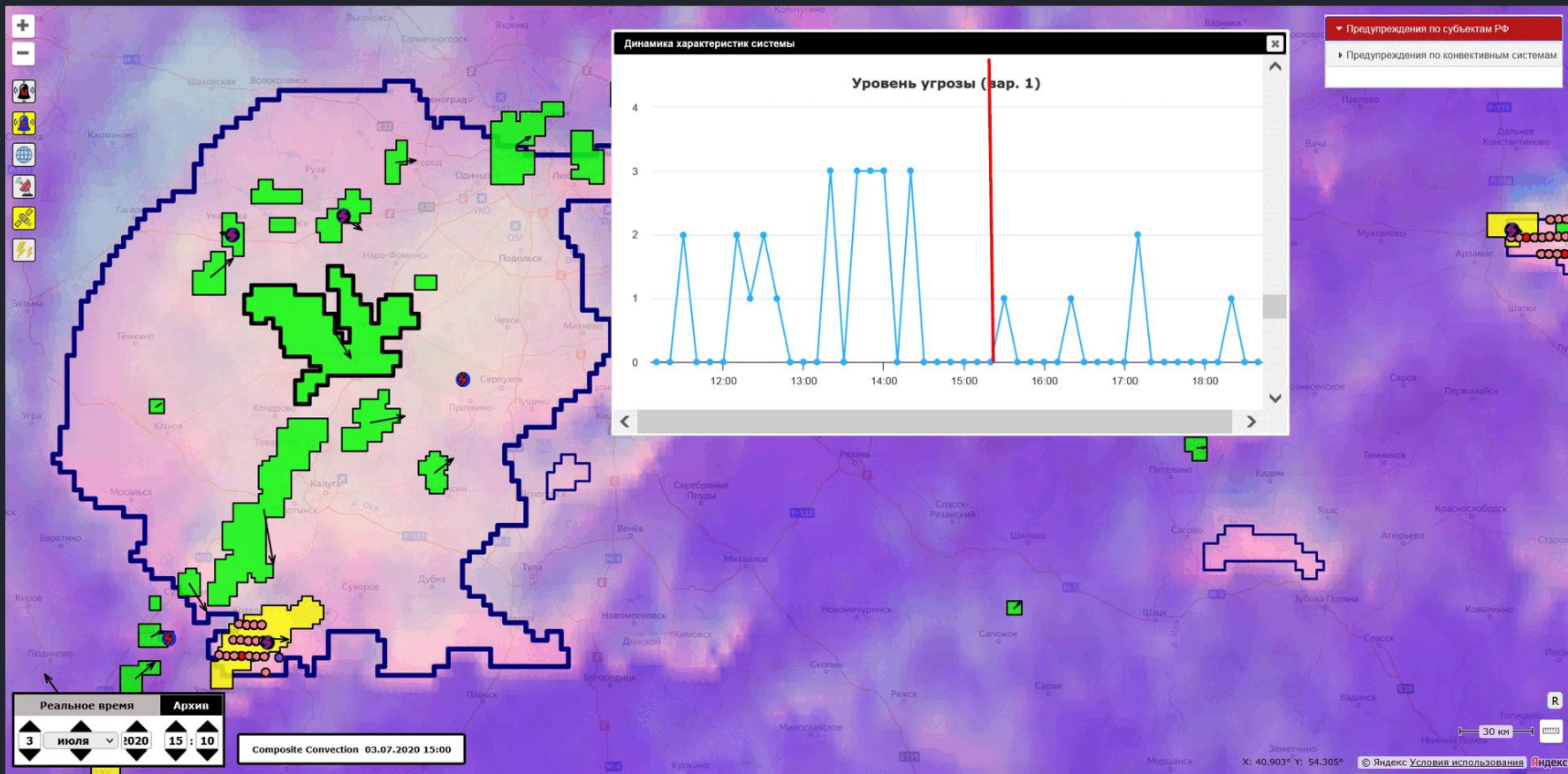
Выраженный МКК с высокой молниевой активностью



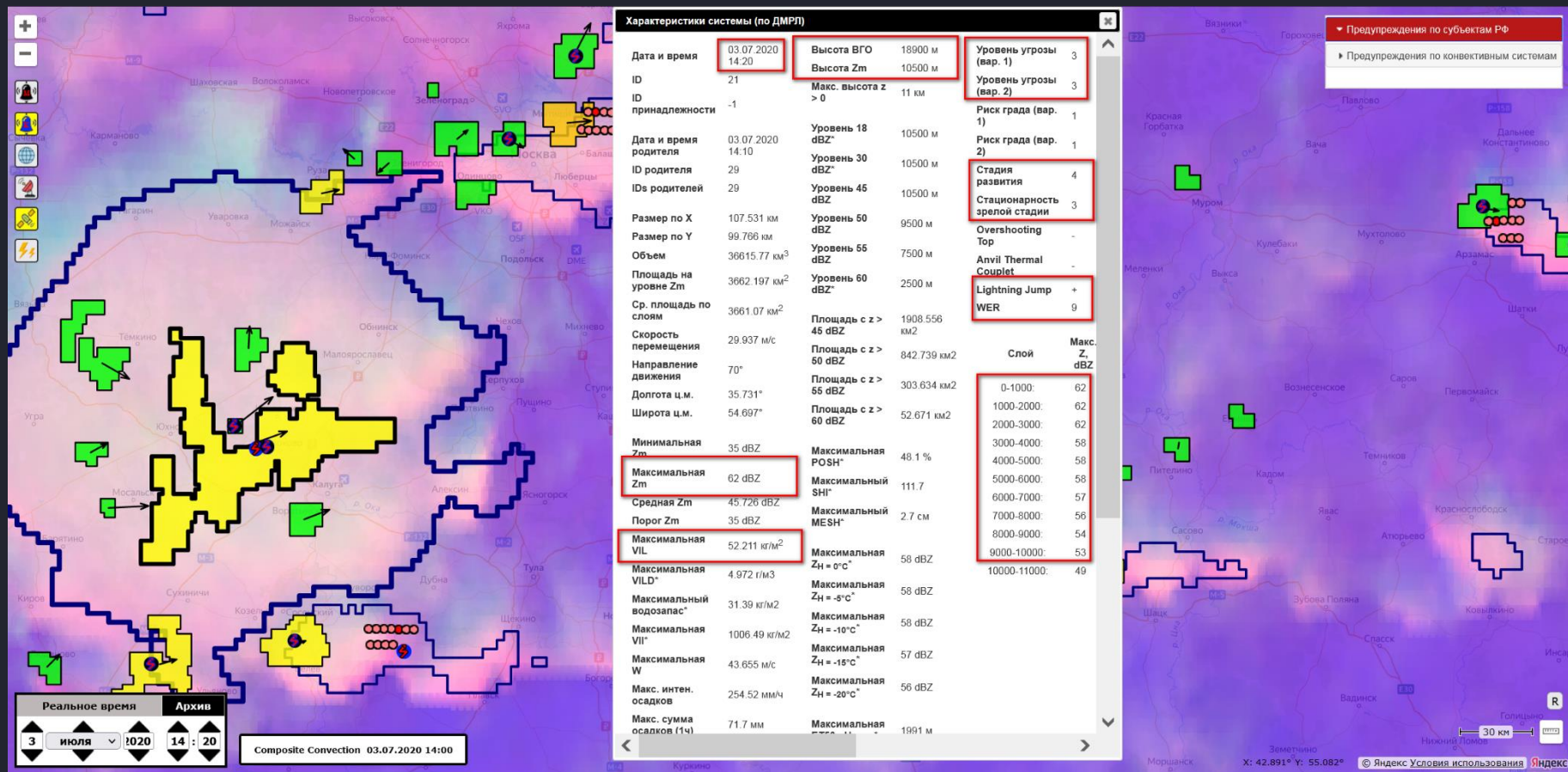
Спутниковые параметры + параметры молниевой активности



Временной ход сигнатур и критериев угрозы

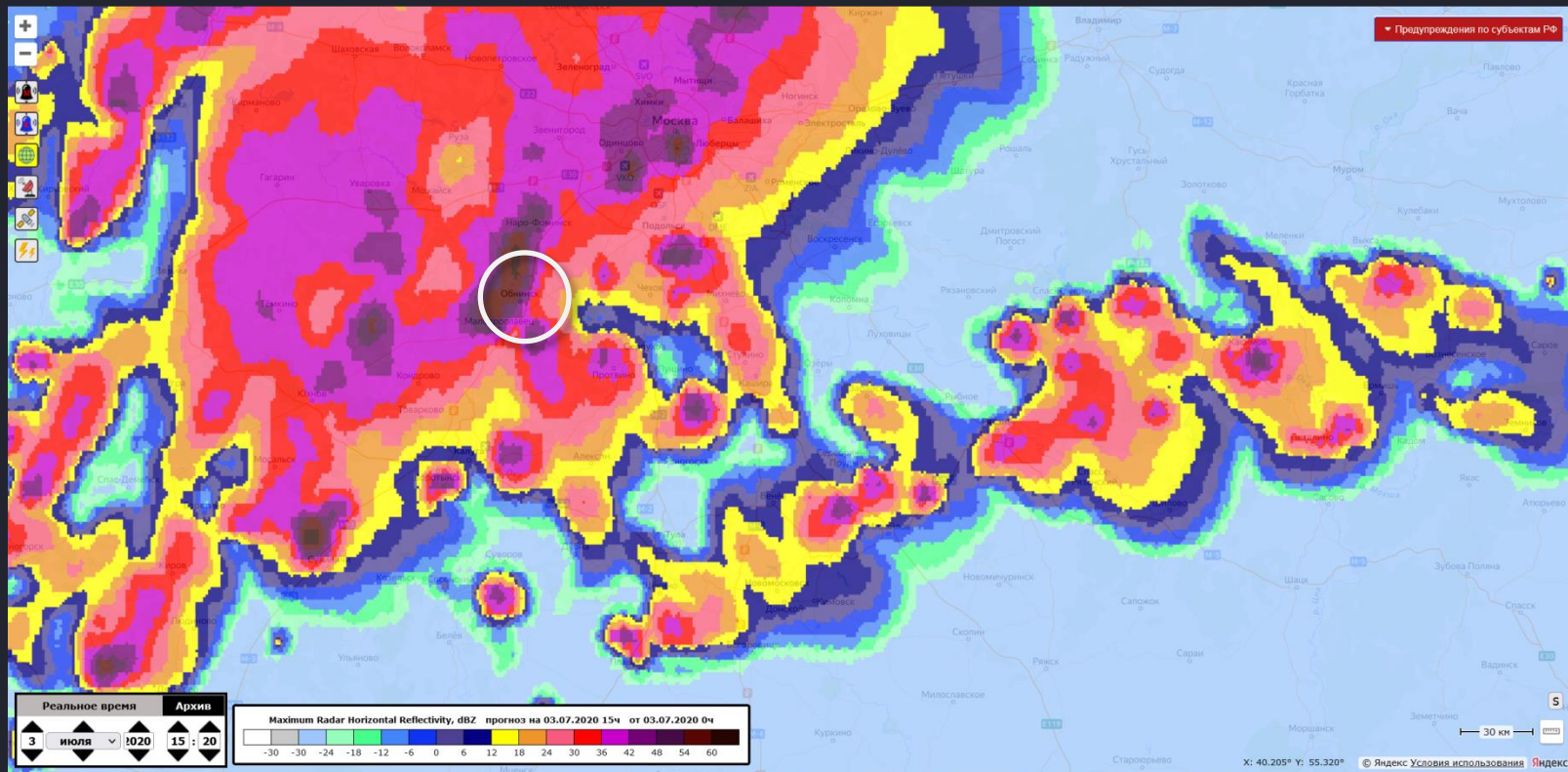


Радарные параметры системы за 1 час до шквала



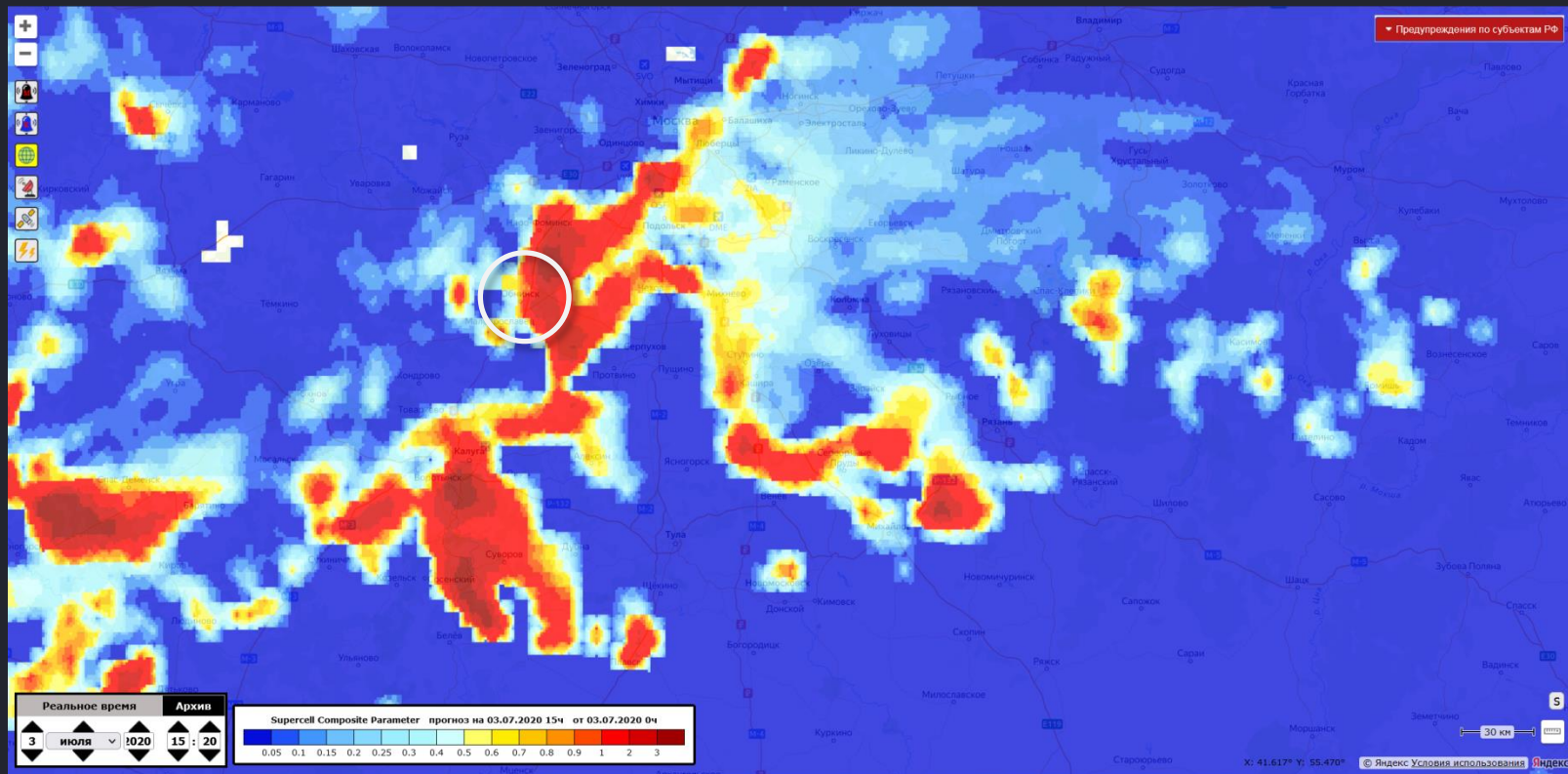
Модельные параметры (WRF) на 15 UTC

Max dBZ
SCP
0-3 shear
UH
SSI
WDP
LPI



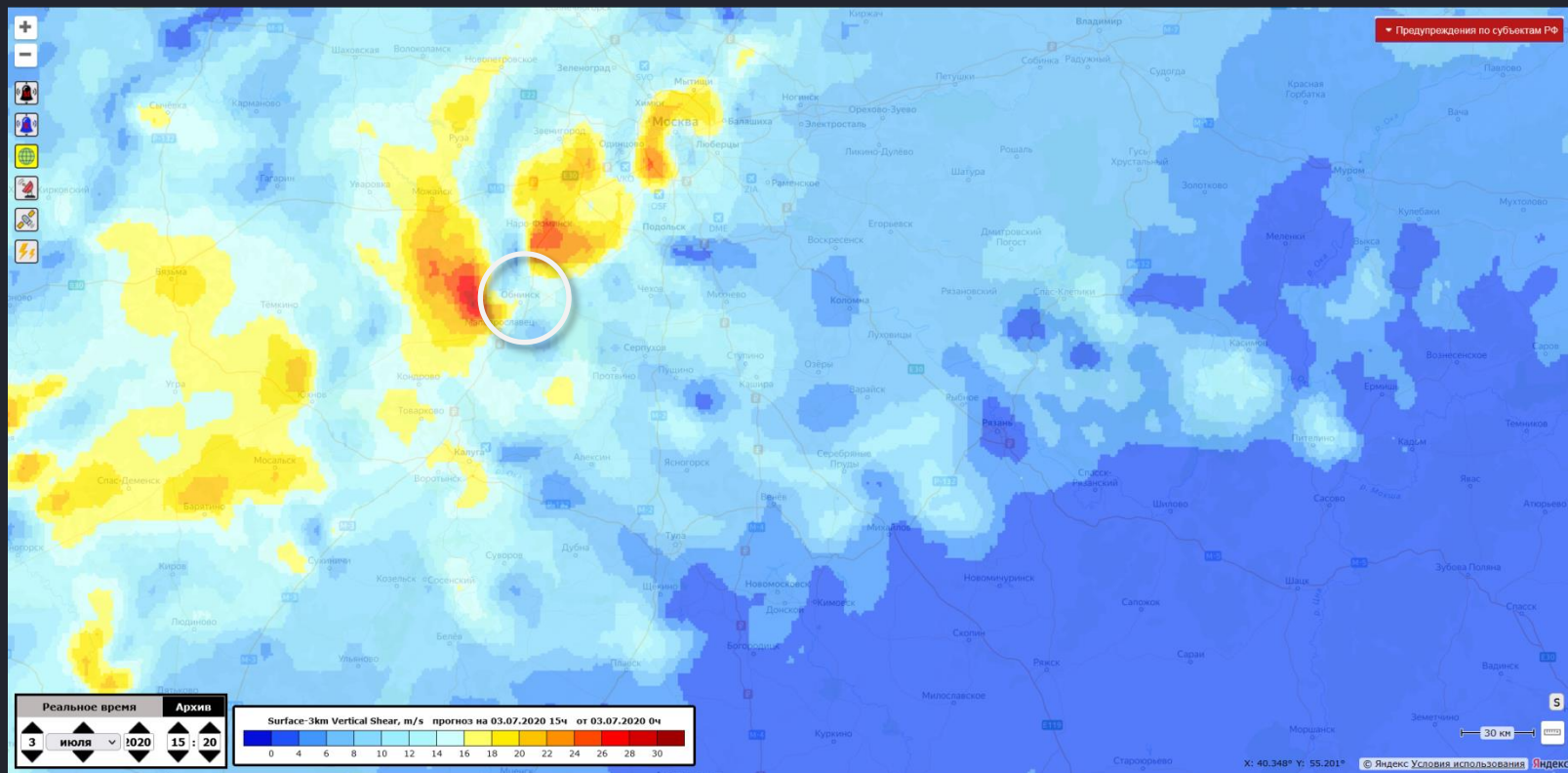
Модельные параметры (WRF) на 15 UTC

Max dBZ
SCP
0-3 shear
UH
SSI
WDP
LPI



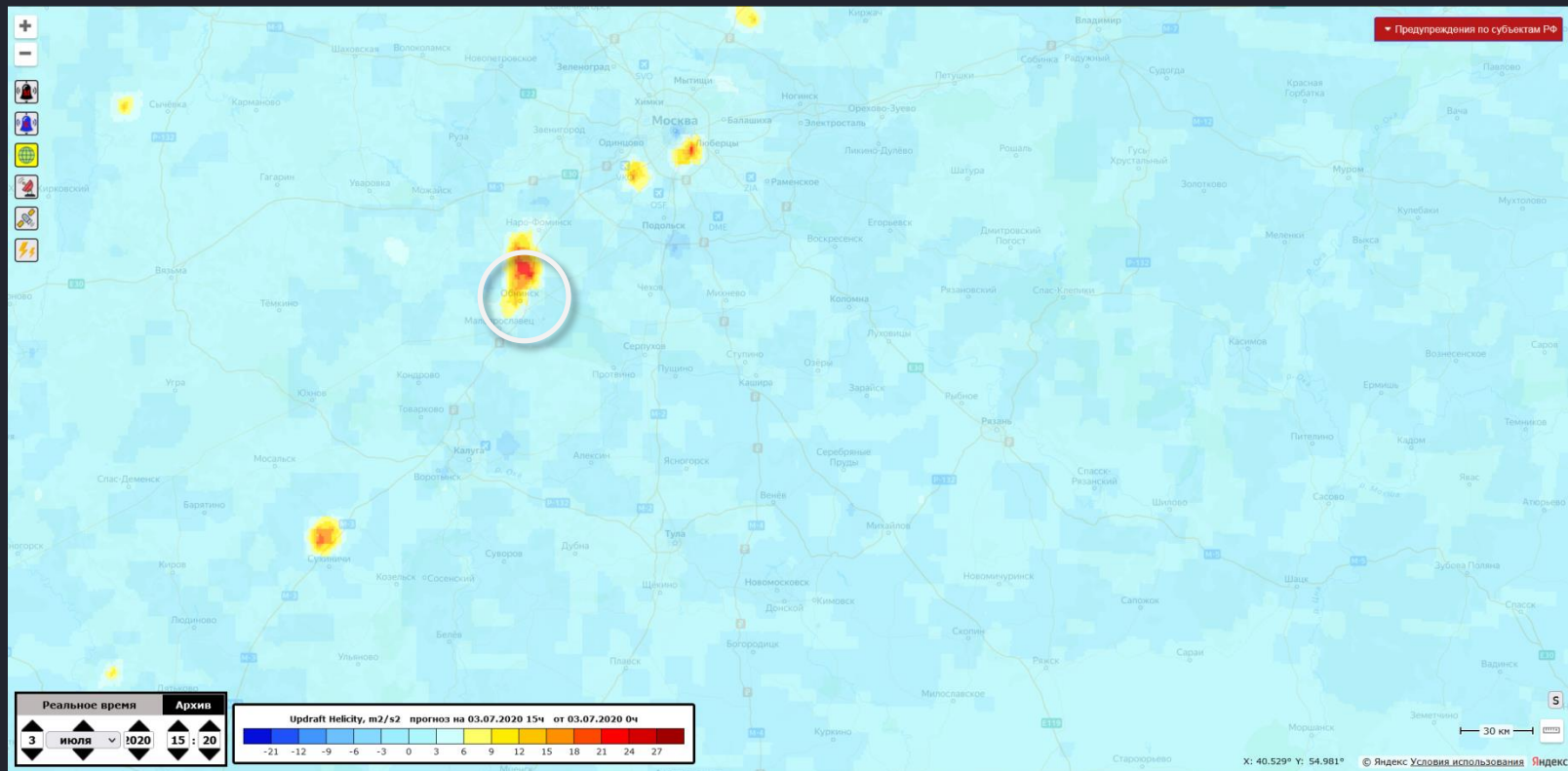
Модельные параметры (WRF) на 15 UTC

Max dBZ
SCP
0-3 shear
UH
SSI
WDP
LPI



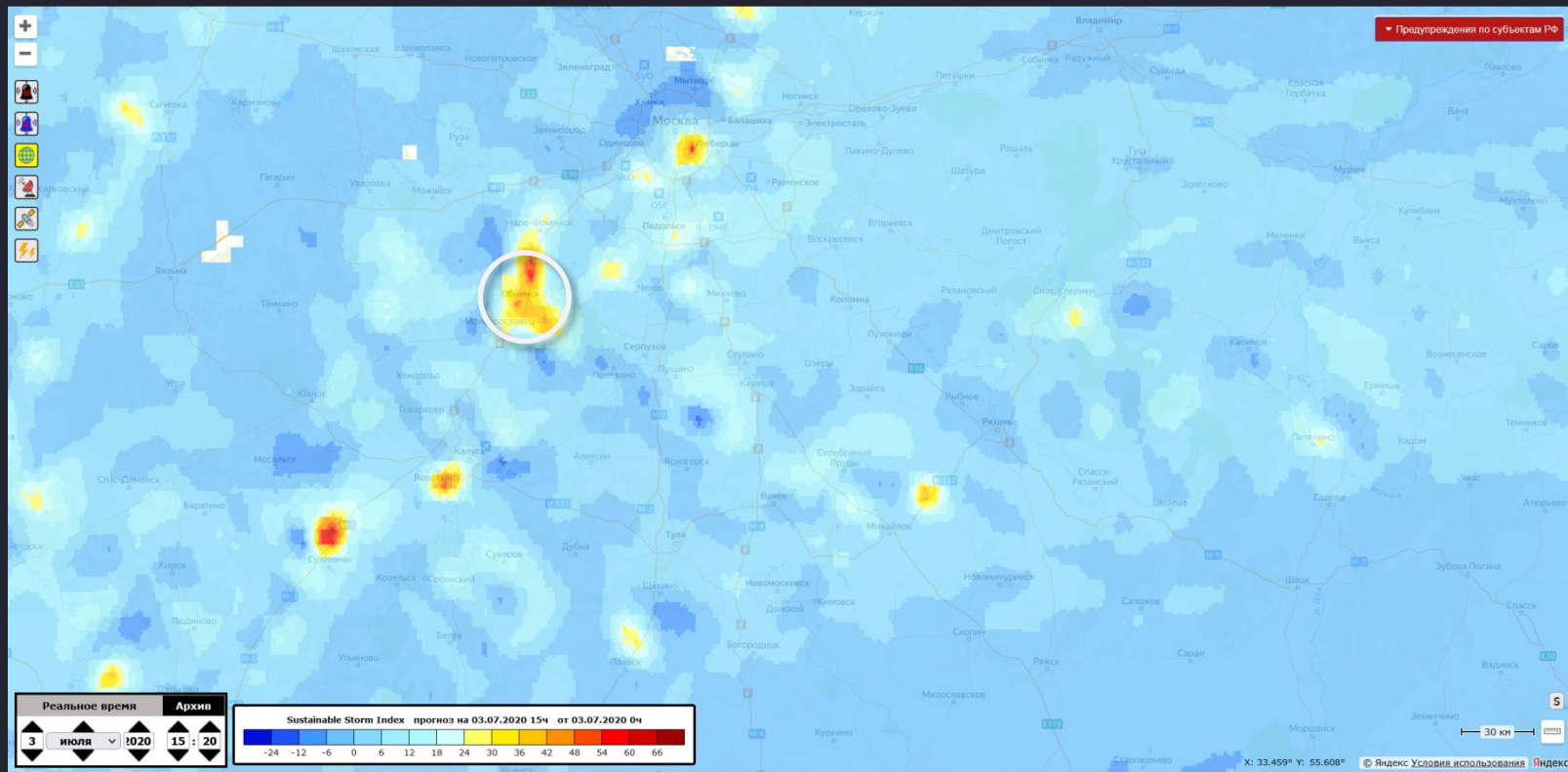
Модельные параметры (WRF) на 15 UTC

Max dBZ
SCP
0-3 shear
UH
SSI
WDP
LPI



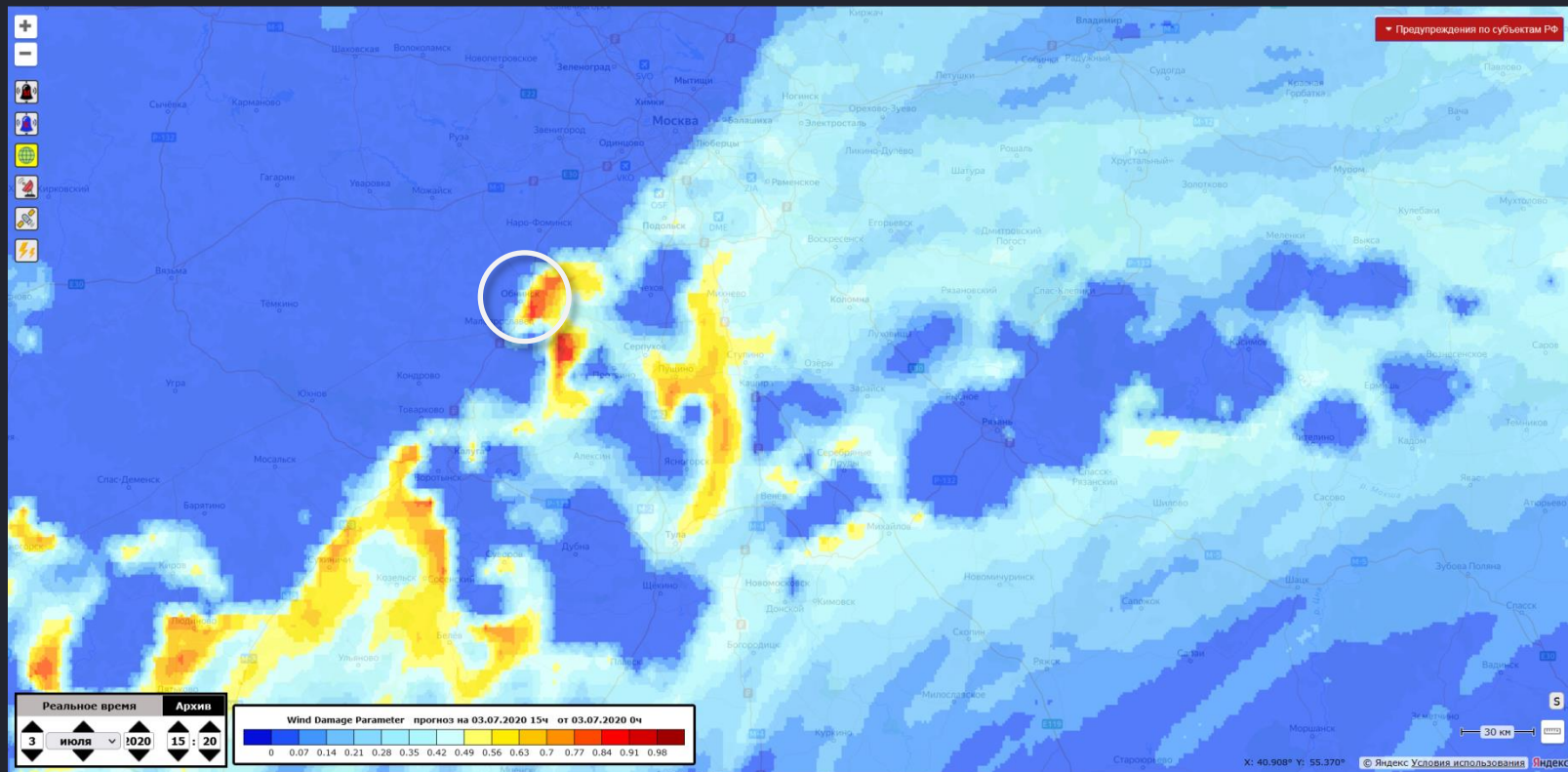
Модельные параметры (WRF) на 15 UTC

Max dBZ
SCP
0-3 shear
UH
SSI
WDP
LPI



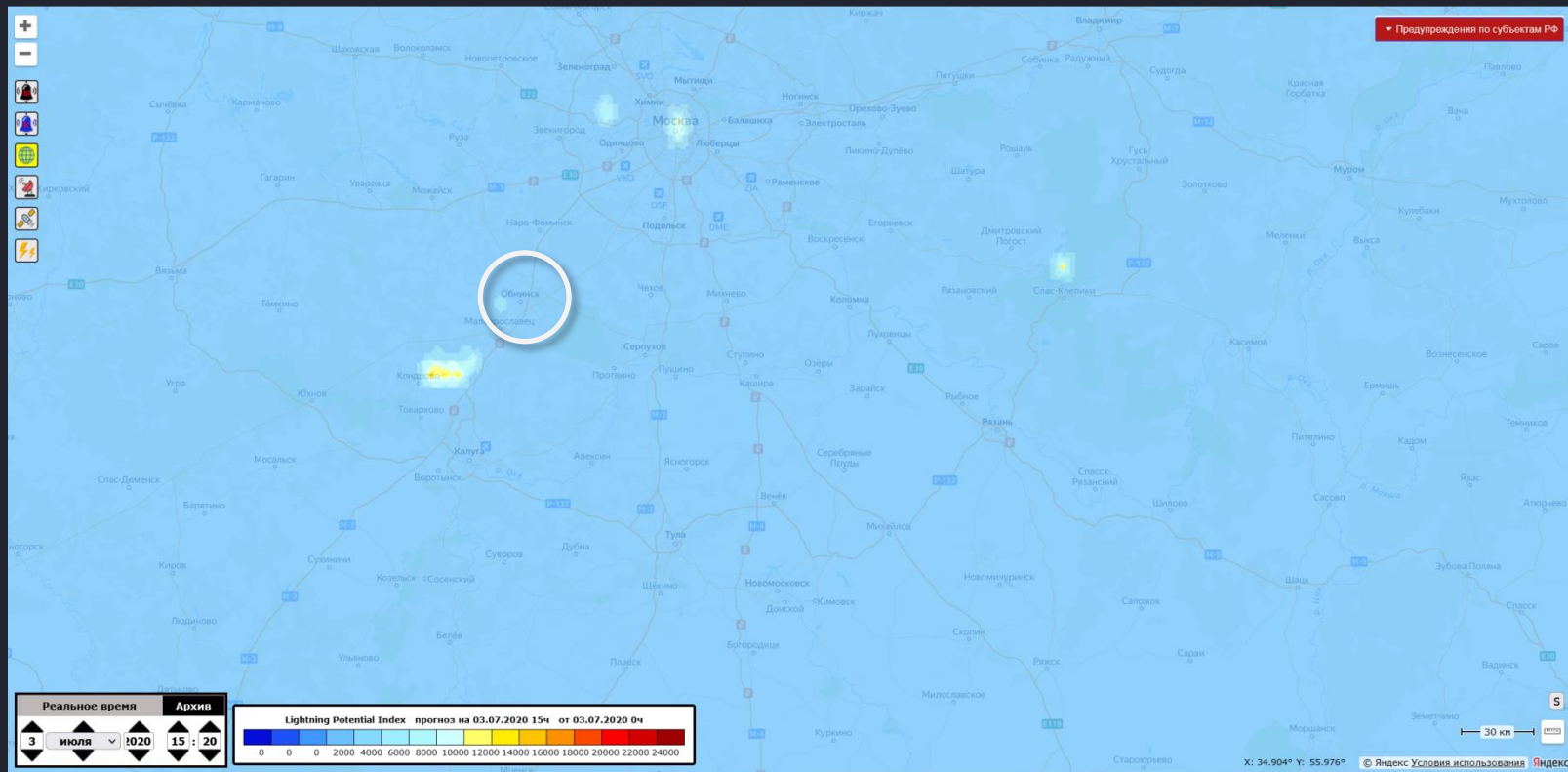
Модельные параметры (WRF) на 15 UTC

Max dBZ
SCP
0-3 shear
UH
SSI
WDP
LPI

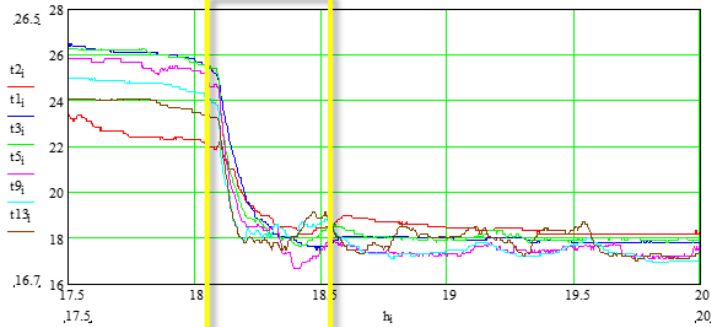


Модельные параметры (WRF) на 15 UTC

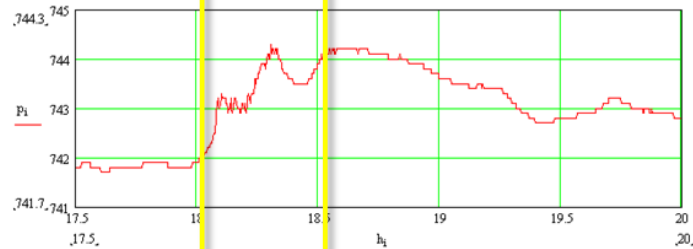
Max dBZ
SCP
0-3 shear
UH
SSI
WDP
LPI



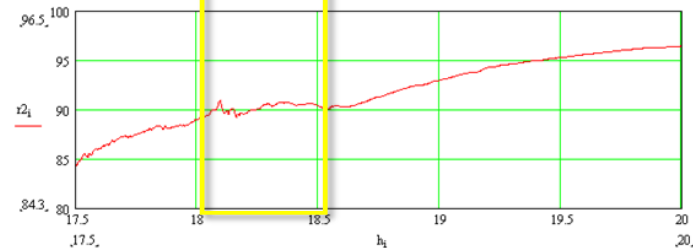
Температура воздуха с 17:30 до 20 часов МСК 3 июля 2020 г.



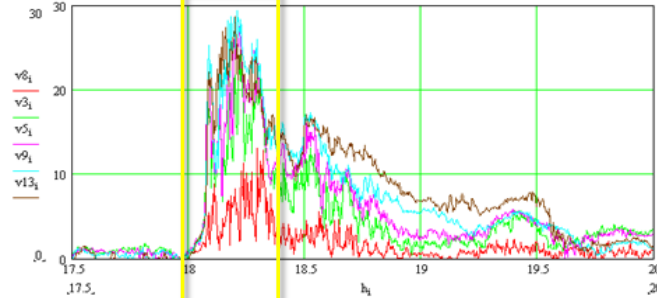
Атмосферное давление



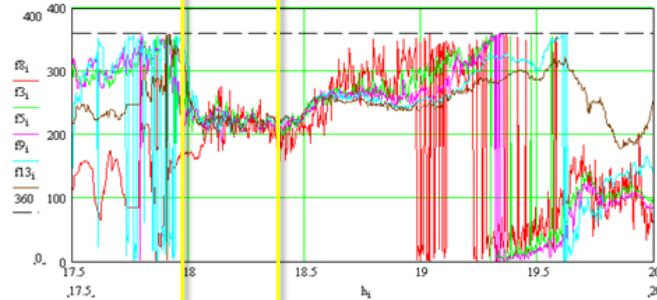
Относительная влажность воздуха



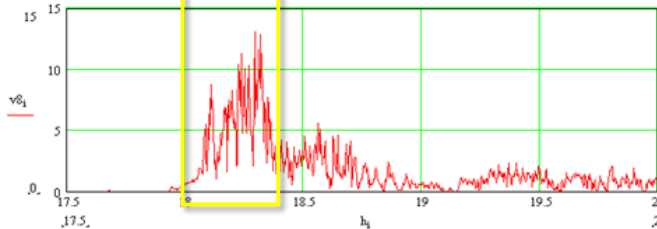
Скорость ветра



Направление ветра



Скорость ветра на высоте 8 м



- Сильное падение T (до 4-6 гр. за 5-7 мин)
- Скачок давления
- Порывы ветра (с флуктуациями скорости)
- Отн. стабильное направление ветра во время шквала. Увлечение нисходящими потоками СТНУ к приземному слою ??



Типичный
Обнинск

A wide-angle nighttime photograph of a cityscape, likely Obninsk, showing silhouettes of buildings and structures against a dark sky. A few lights are visible from the buildings.



Типичный
Обнинск

A nighttime photograph showing a fire burning on the roof of a building, with bright orange flames and thick black smoke rising into the dark sky. In the foreground, there is a white fence and some foliage.

Шаровая молния разрушила спокойную жизнь обнинских пенсионеров

ПРОИСШЕСТВИЯ / 24 АВГУСТА 2023



19 августа в 22.30 над Обнинском грохотала и сверкала молниями небывалая гроза.

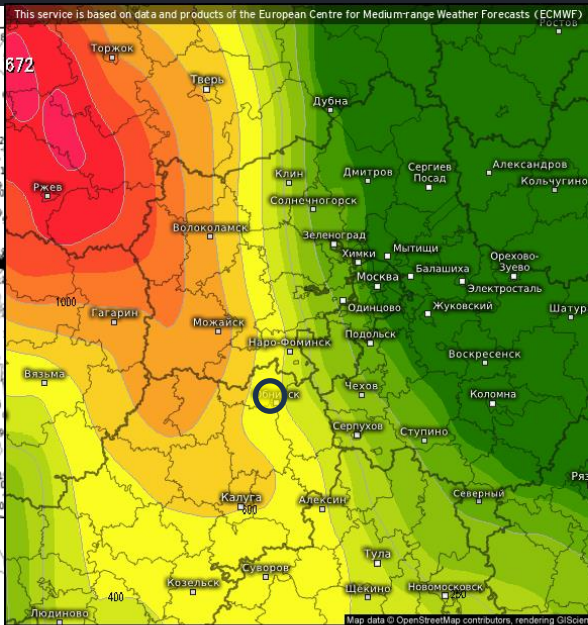
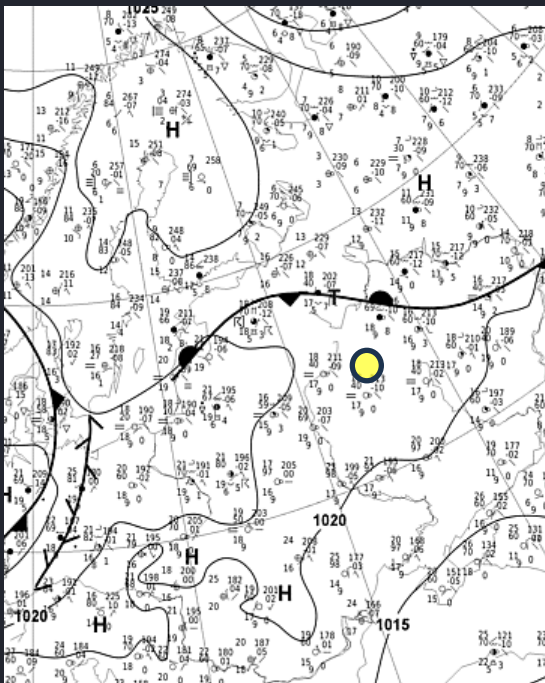
В дом на улице Обнинского, 2, корпус 2, что в Белкино ударила молния, да не простая, а шаровая.

ПОЖАР ТУШИЛИ 13 ЧАСОВ!

Образование ШМ после удаля линейной молнии ?



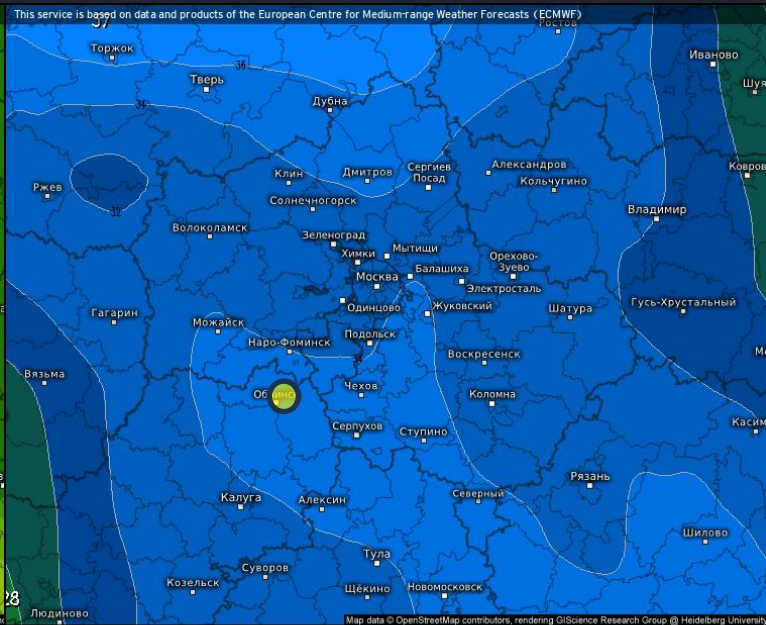
— У нас повывлетали сразу все розетки,
— рассказывает Андрей, сын хозяев
дома супругов Гудковых. — Хлопок был
очень сильный и мама увидела, как из
розетки выкатился шар. Мы пошли
смотреть автоматы, это же частный
дом, где что отключилось. Папа вышел
на улицу, а там уже люди кричат: «У вас
крыша горит».



CAPE (most unstable layer) (J/kg)



Moskva
ECMWF ERA5 (Reanalysis)



Entire Atmosphere Precipitable Water (mm)



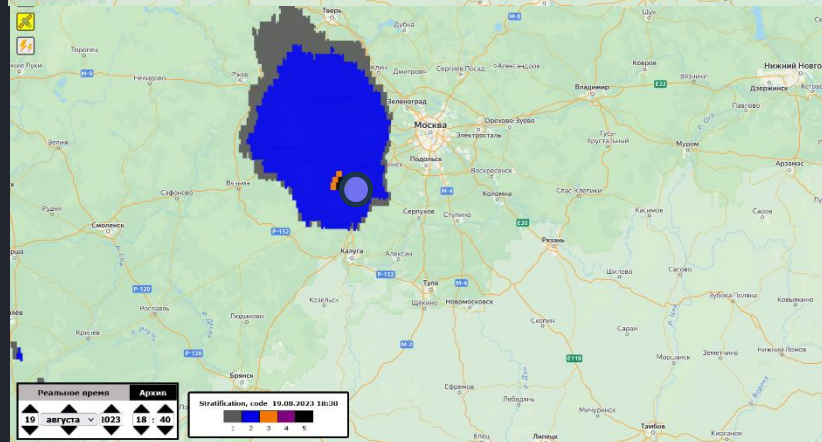
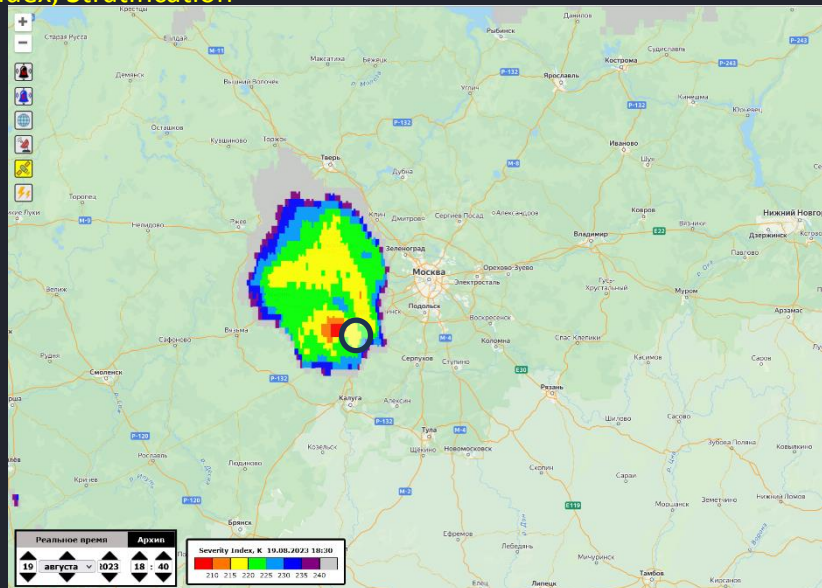
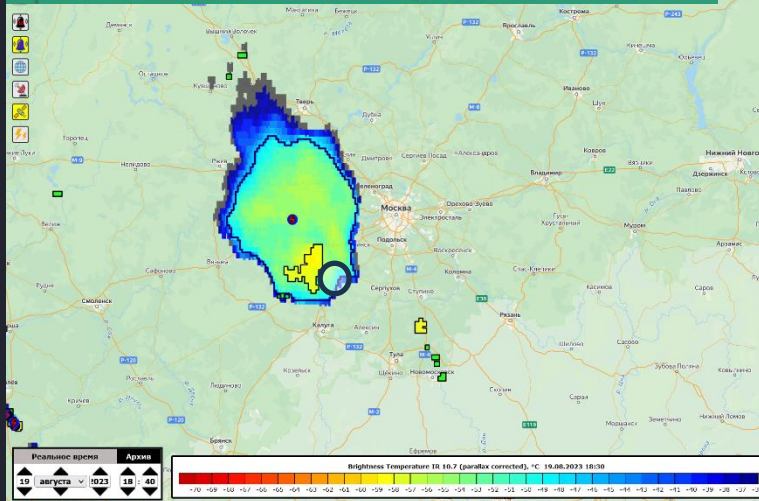
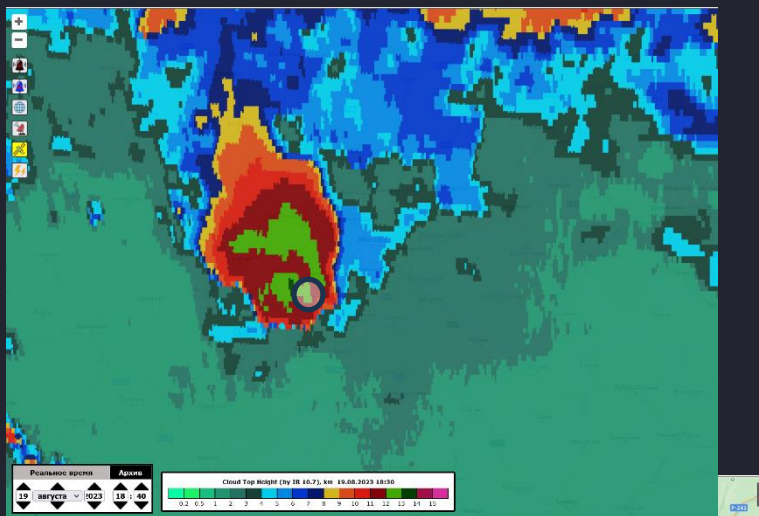
Moskva
ECMWF ERA5 (Reanalysis)

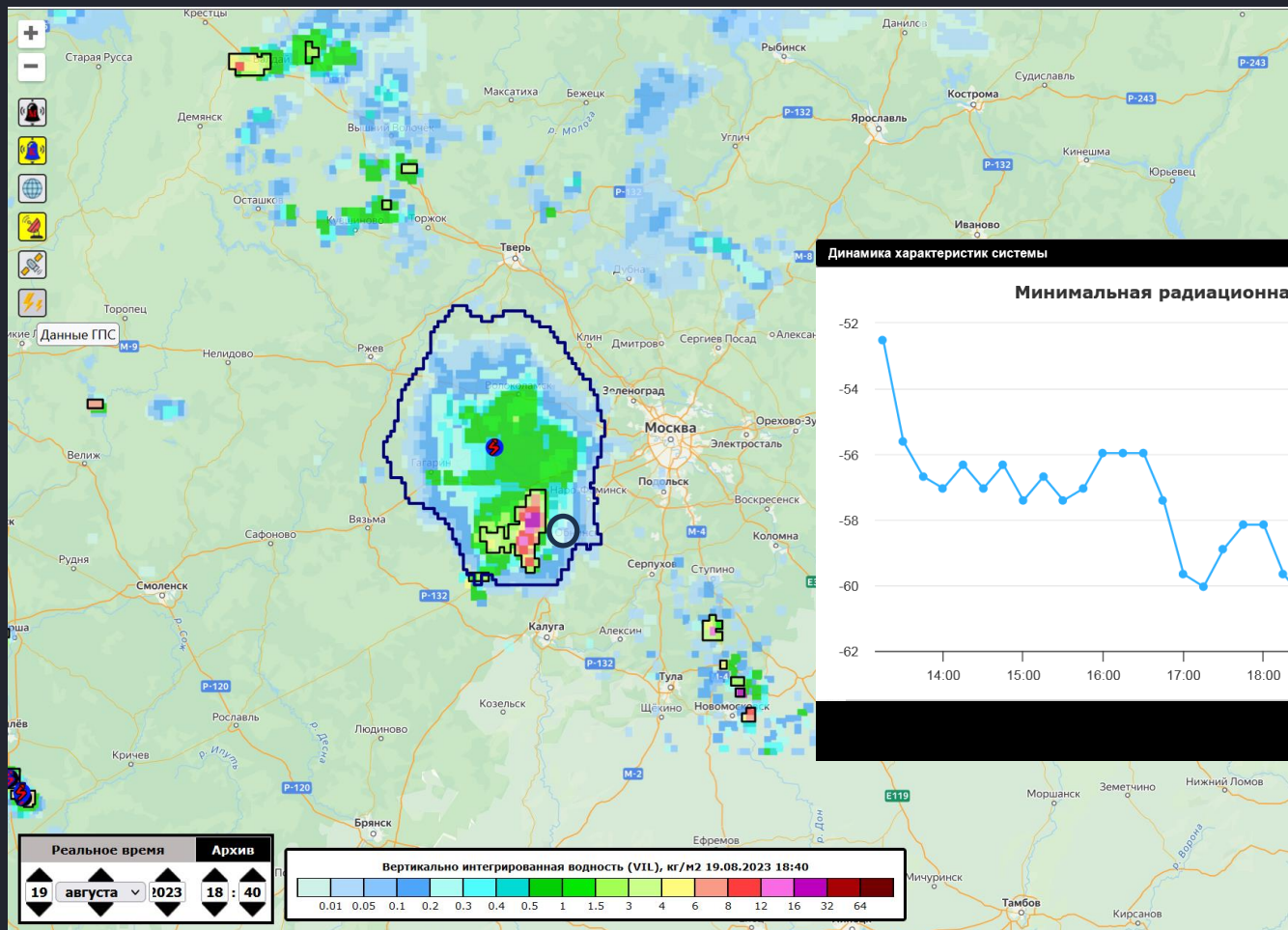
Reanalysis for
Sat 19.08.2023, 21:00 UTC

ECMWF meteologix.com

- Внутримассовый процесс в теплой, влажной, неустойчивой ВМ; КСФ – севернее, через Моск. обл.
- Адвекция тепла
- Высокое общее влагосодержание
- Низкие сдвига ветра и скорости в ср. тропосфере

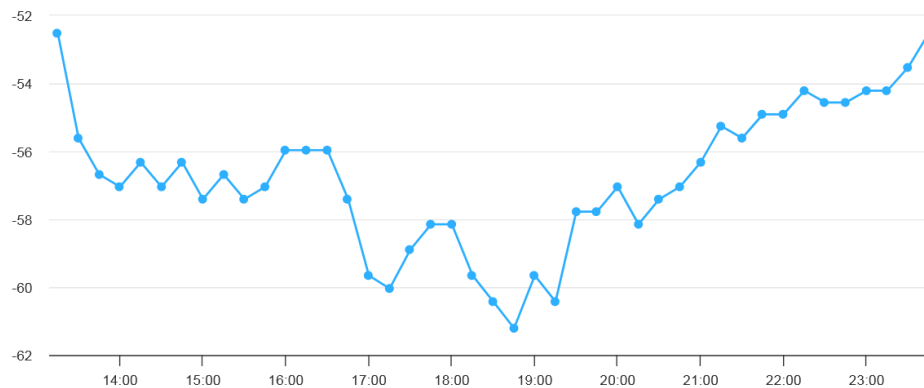
Спутниковые отображения МКК: СТН, ВТ 10.8, Severity index, Stratification





Динамика характеристик системы

Минимальная радиационная температура IR10.7 мкм



Модельные параметры
(WRF) на 22 UTC:

Max dBZ

300-1000 hPa Div. Diff

EHI

LPI

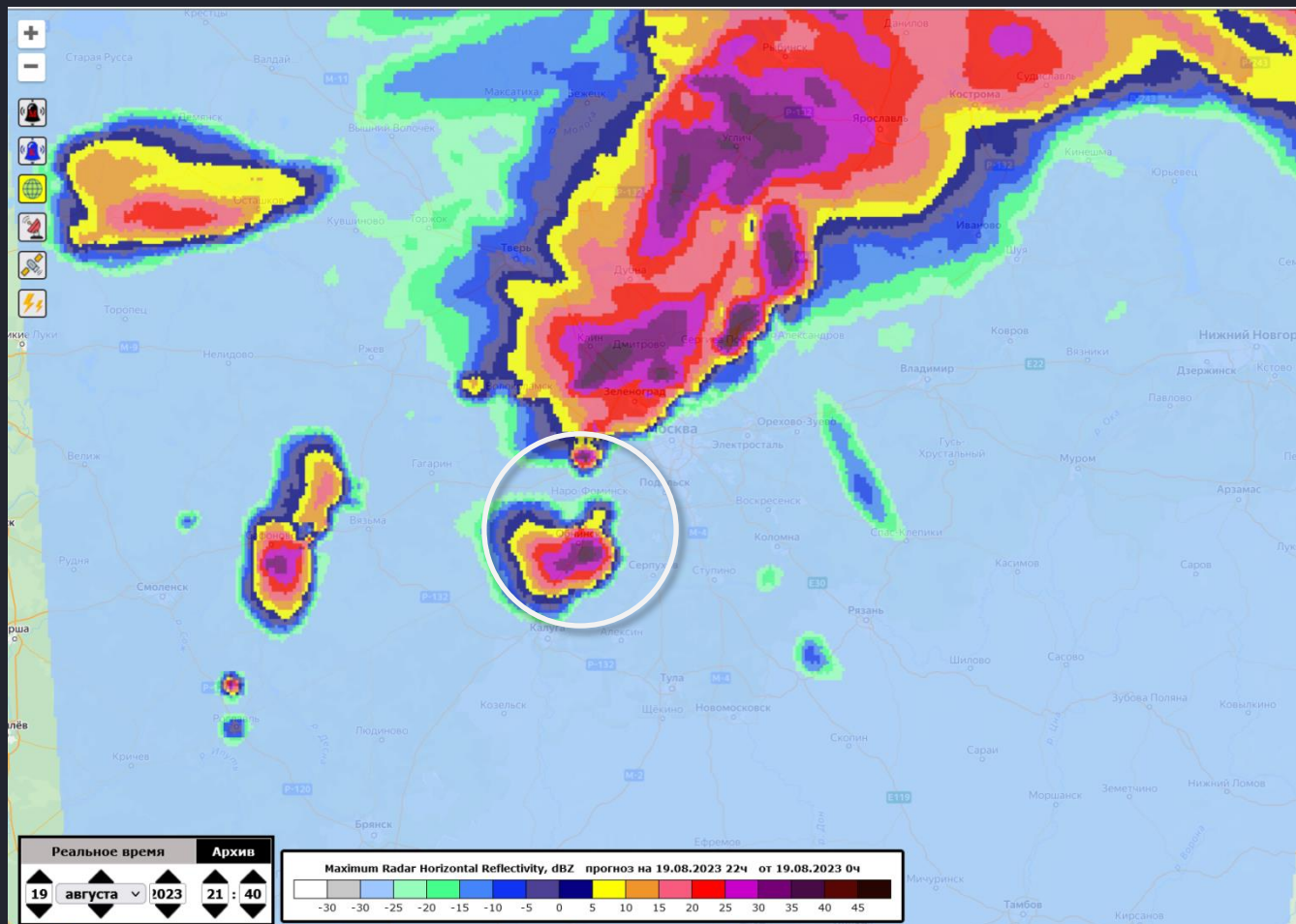
PW

SCP

SCS

SSI

CG Flash count



Модельные параметры (WRF) на 22 UTC:

Max dBZ

300-1000 hPa Div. Diff

ENI

LPI

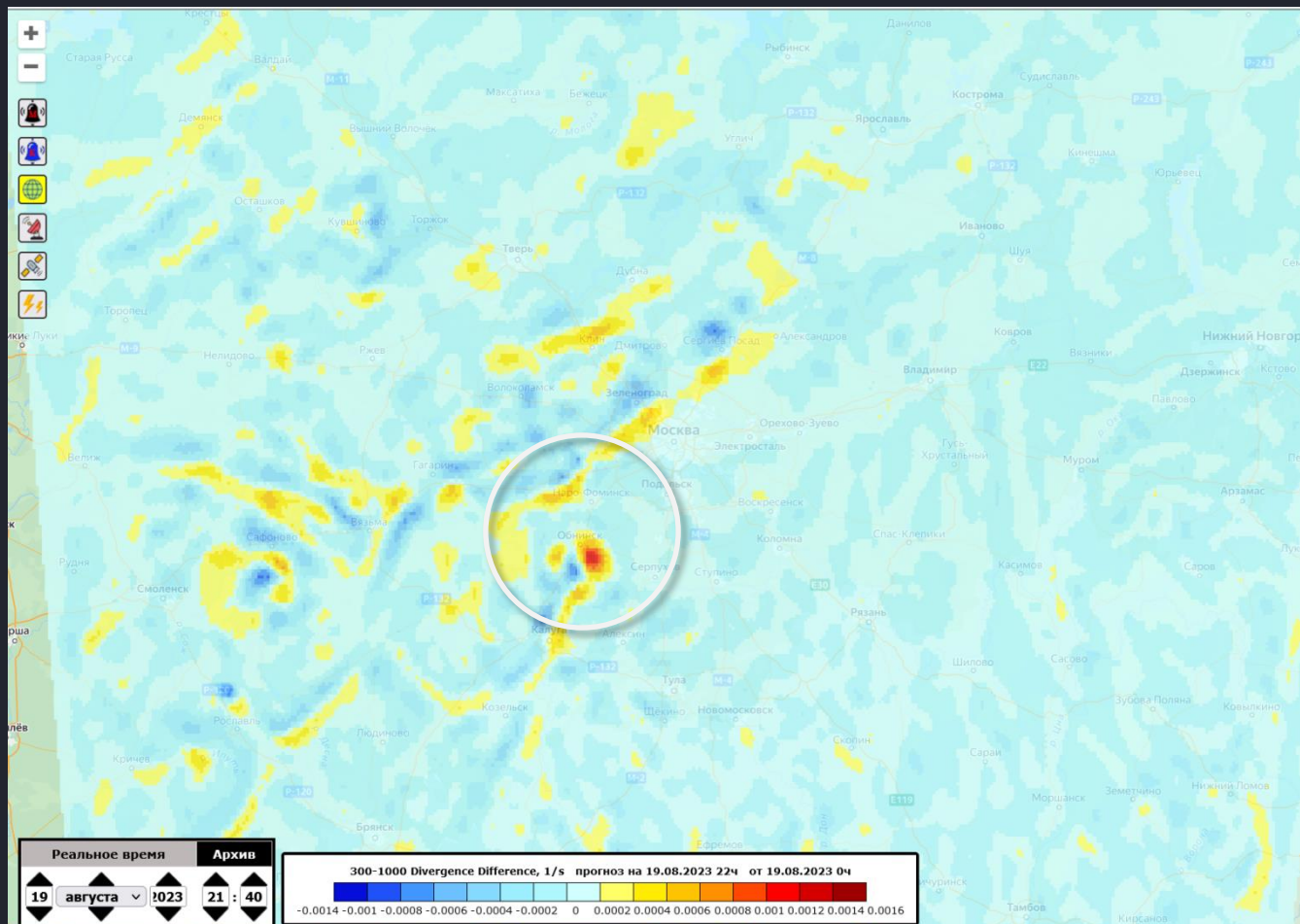
PW

SCP

SCS

SSI

CG Flash count



Модельные параметры (WRF) на 22 UTC:

Max dBZ

300-1000 hPa Div. Diff

ENI

LPI

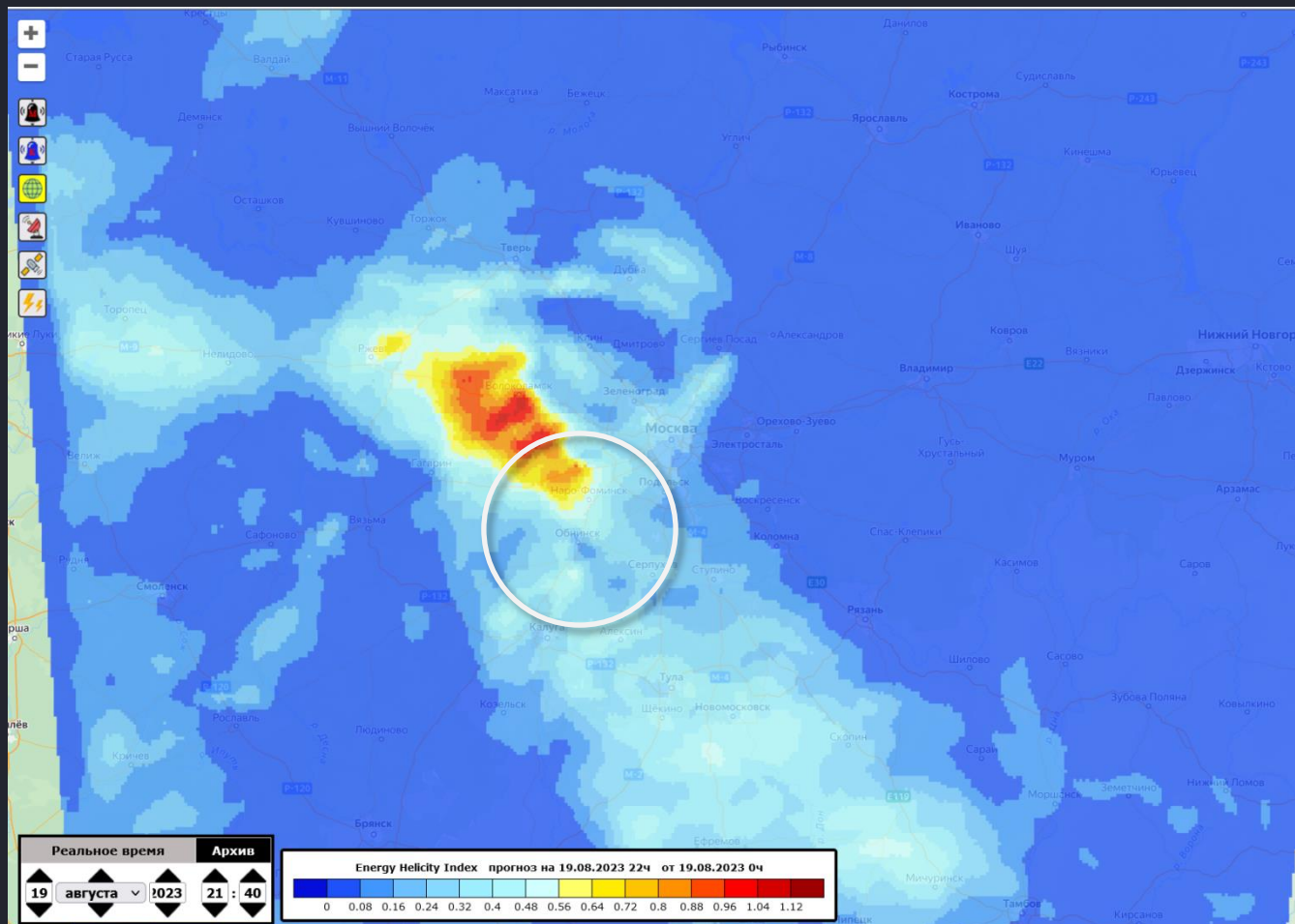
PW

SCP

SCS

SSI

CG Flash count



Модельные параметры (WRF) на 22 UTC:

Max dBZ

300-1000 hPa Div. Diff

ENI

LPI

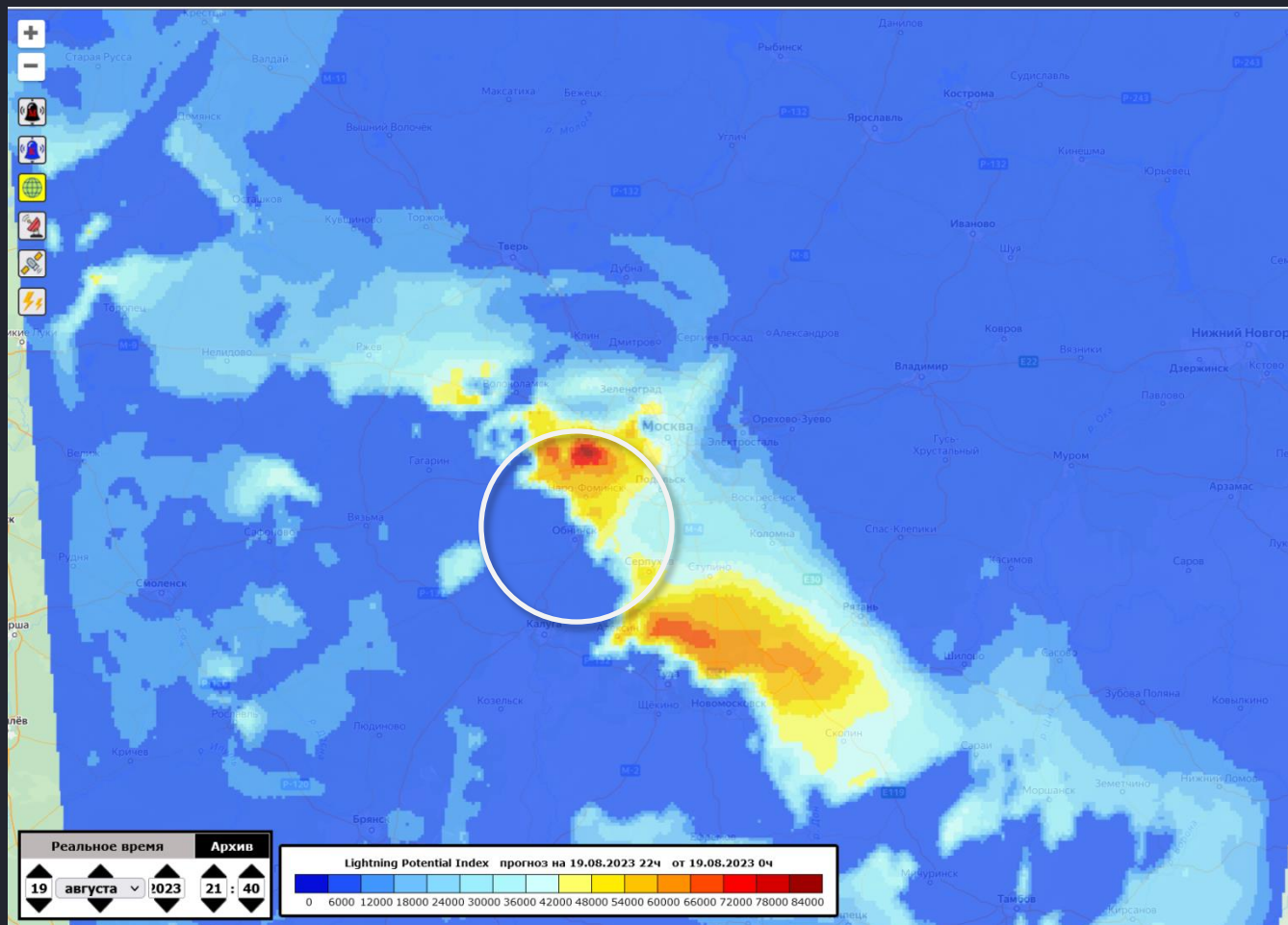
PW

SCP

SCS

SSI

CG Flash count



Модельные параметры (WRF) на 22 UTC:

Max dBZ

300-1000 hPa Div. Diff

EHI

LPI

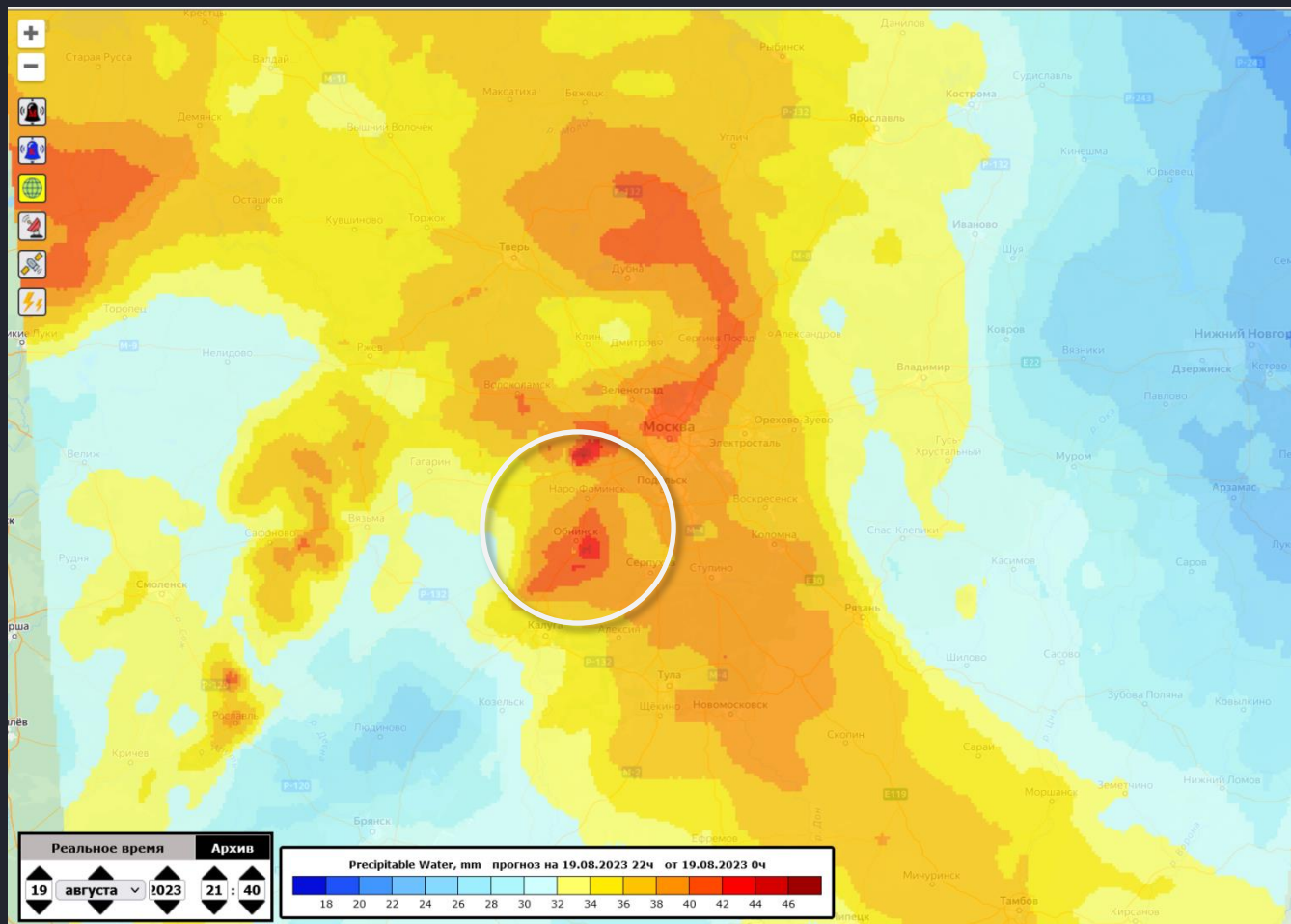
PW

SCP

SCS

SSI

CG Flash count



Модельные параметры (WRF) на 22 UTC:

Max dBZ

300-1000 hPa Div. Diff

ENI

LPI

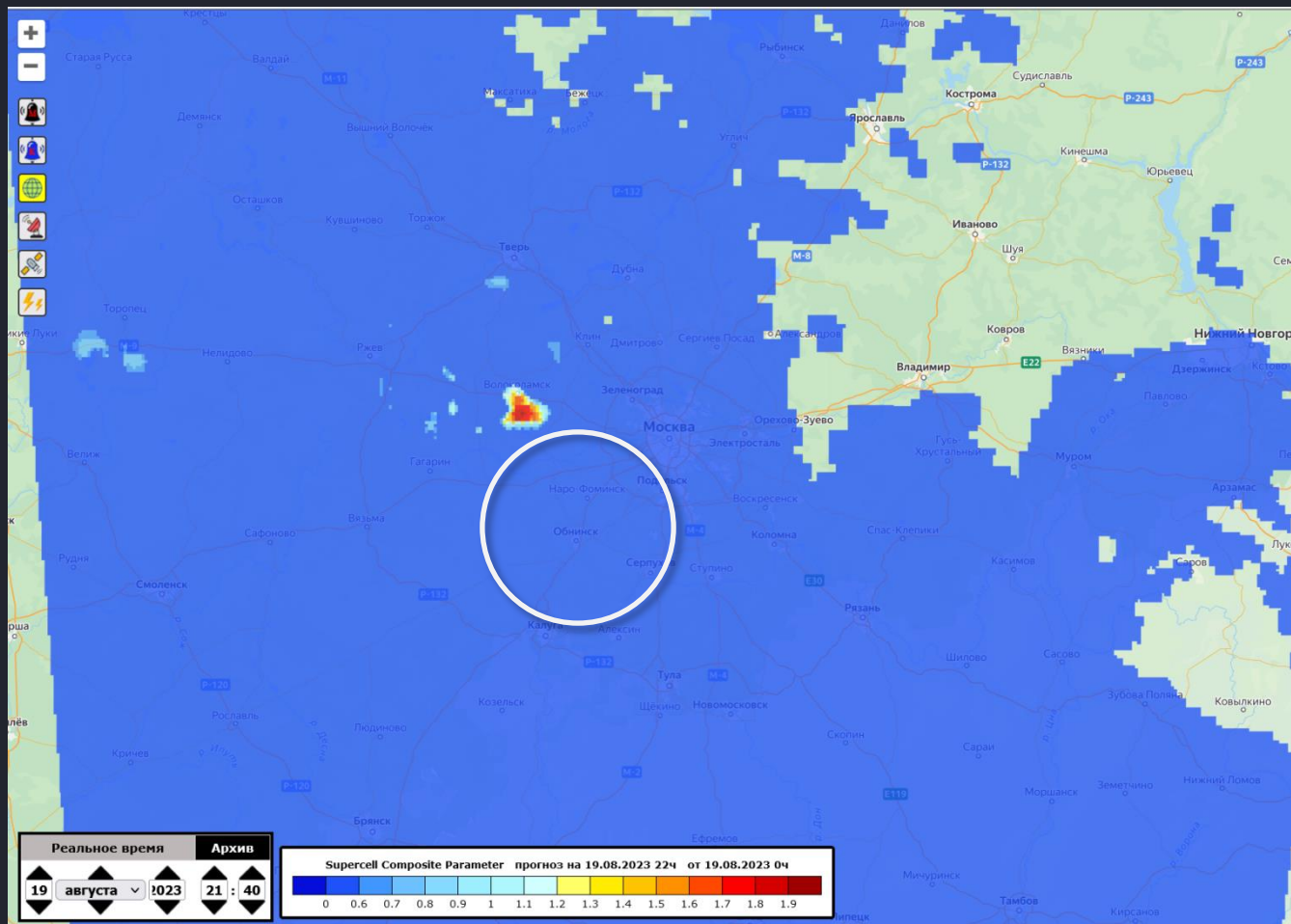
PW

SCP

SCS

SSI

CG Flash count



Модельные параметры (WRF) на 22 UTC:

Max dBZ

300-1000 hPa Div. Diff

EHI

LPI

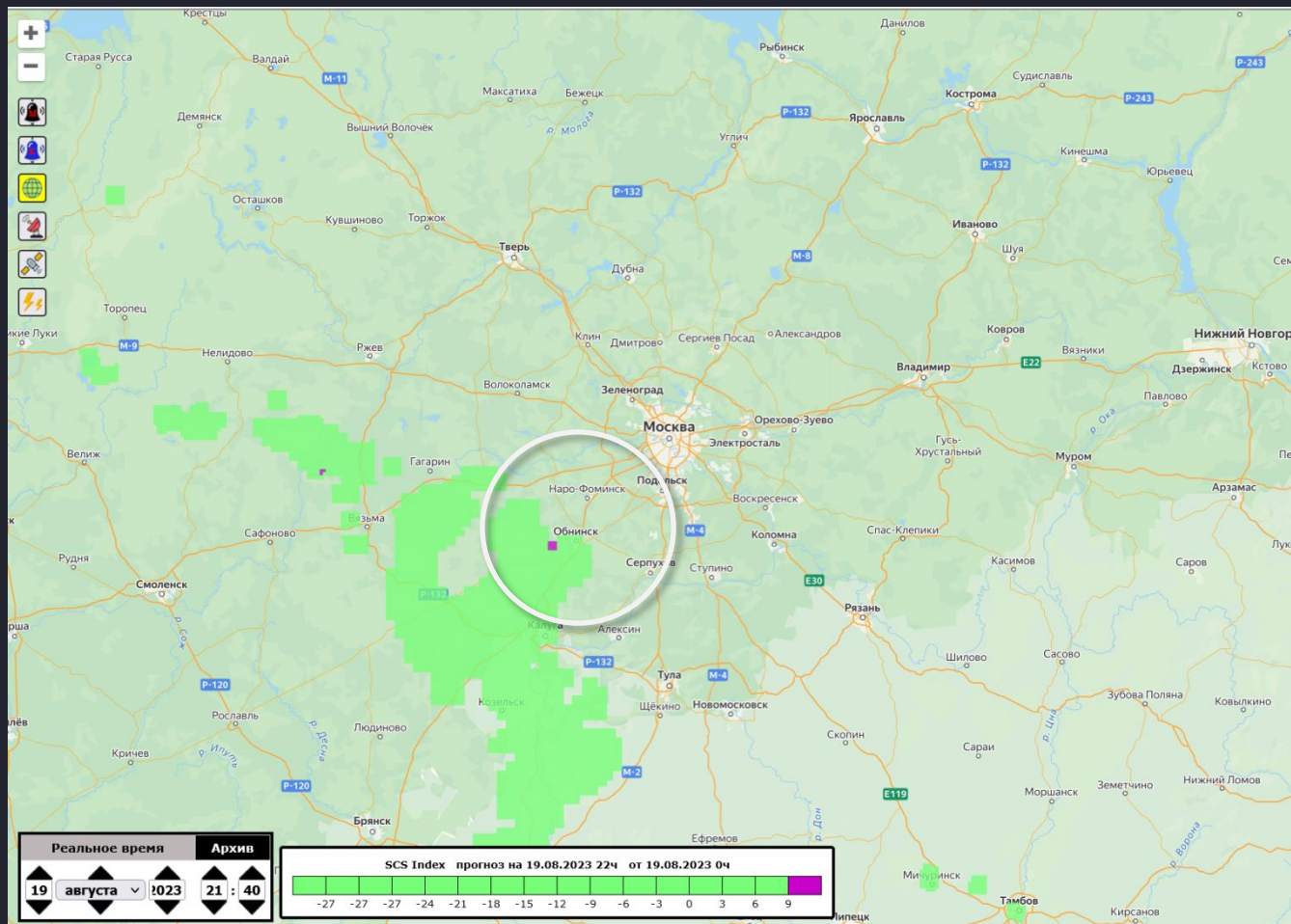
PW

SCP

SCS

SSI

CG Flash count



Модельные параметры (WRF) на 22 UTC:

Max dBZ

300-1000 hPa Div. Diff

EHI

LPI

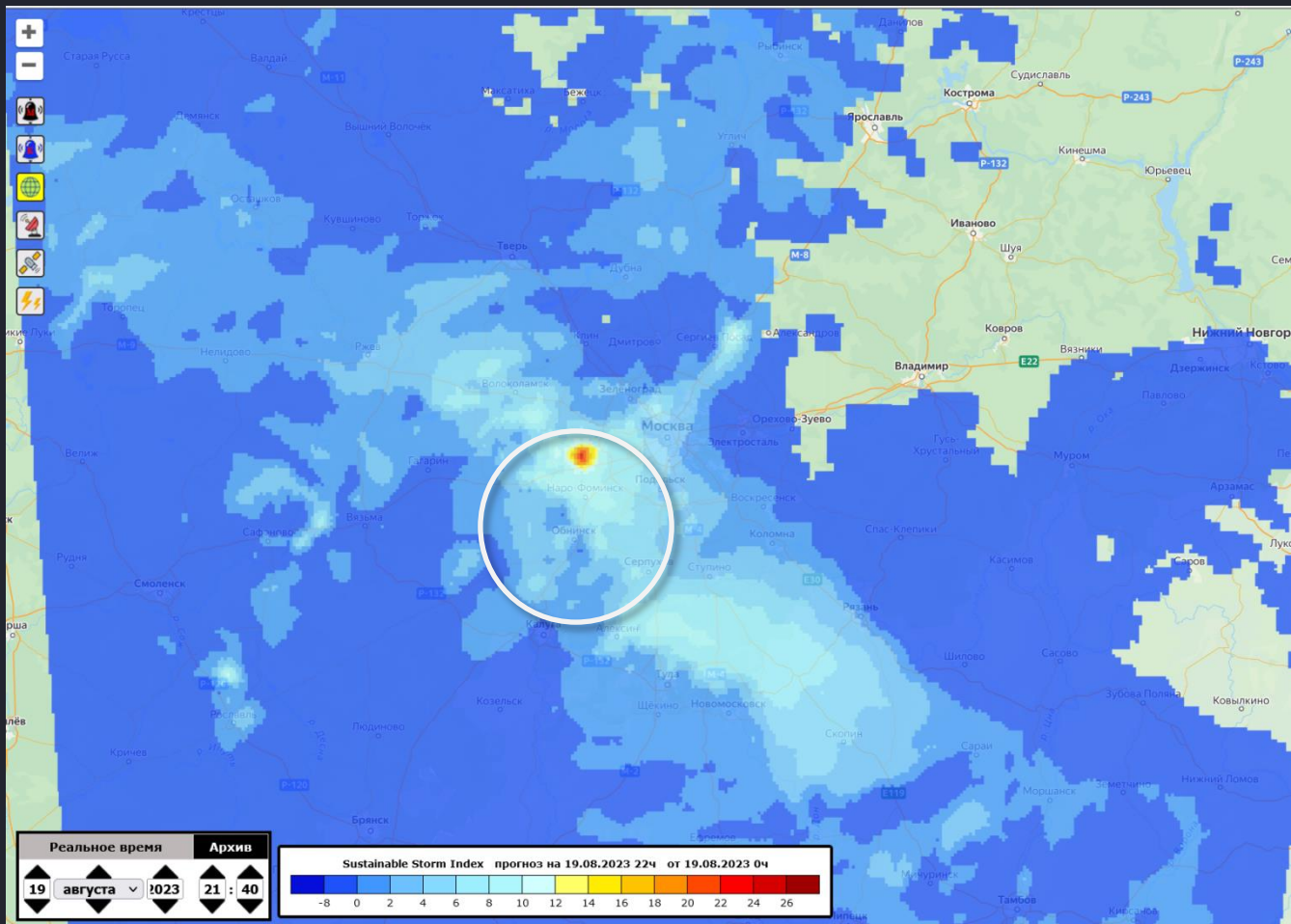
PW

SCP

SCS

SSI

CG Flash count



Модельные параметры (WRF) на 22 UTC:

Max dBZ

300-1000 hPa Div. Diff

ENI

LPI

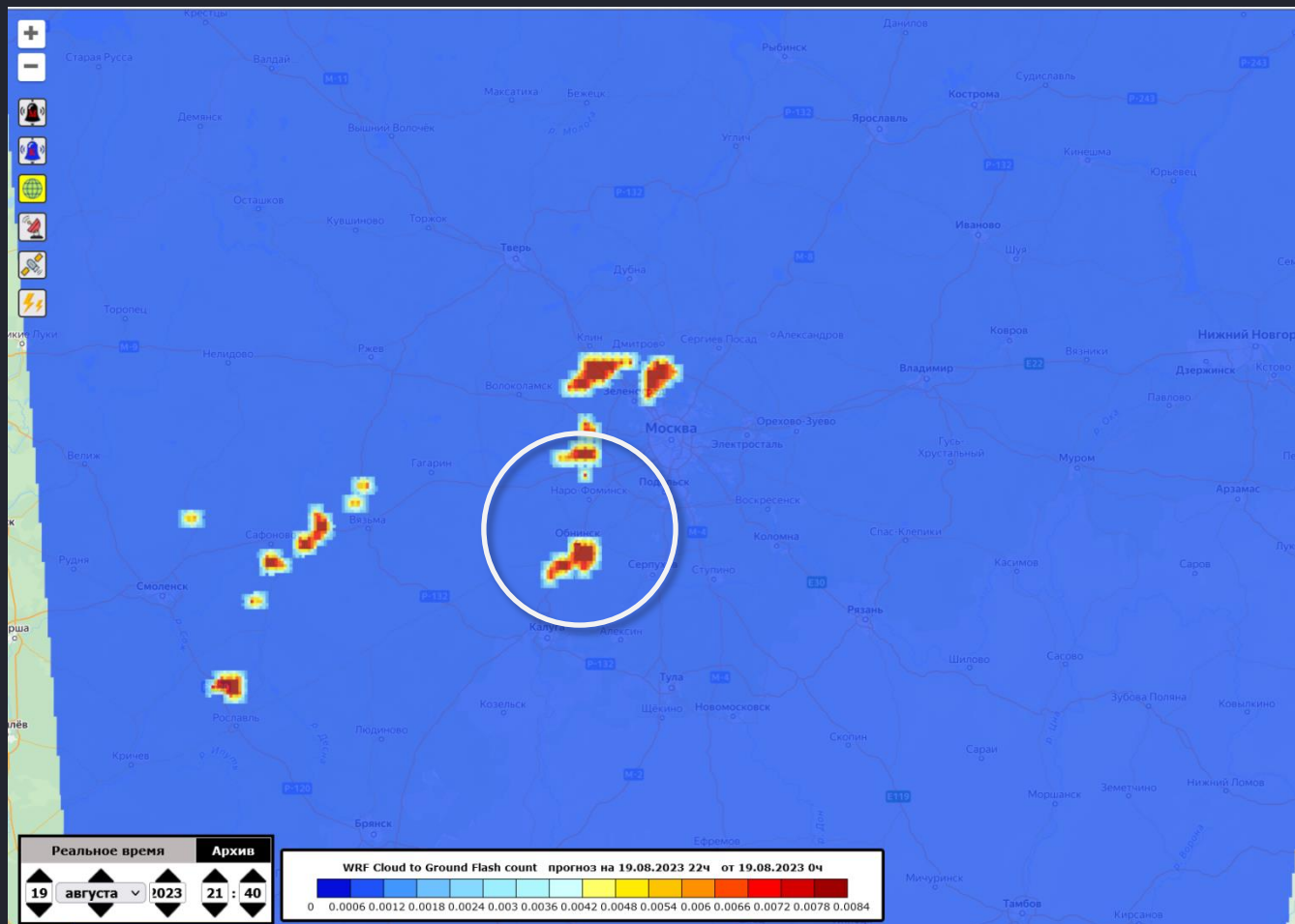
PW

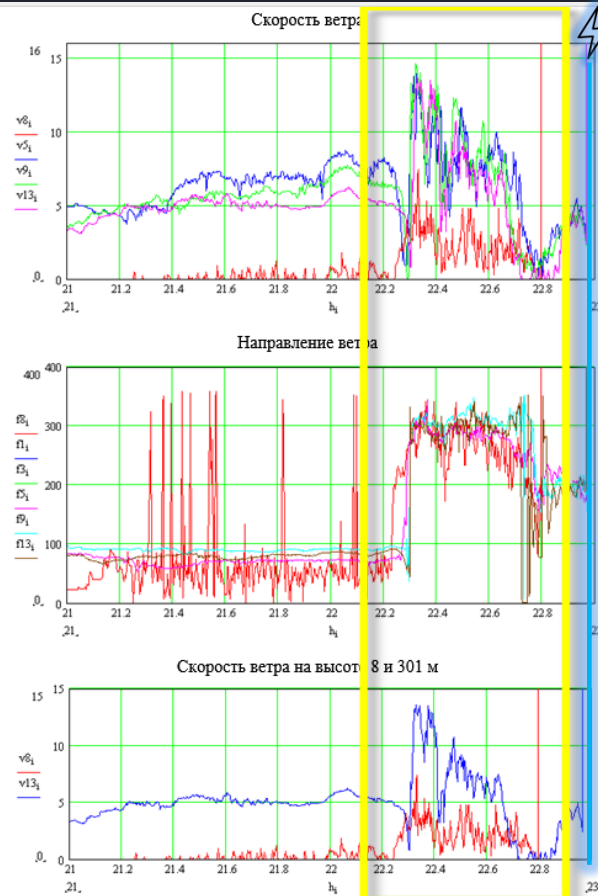
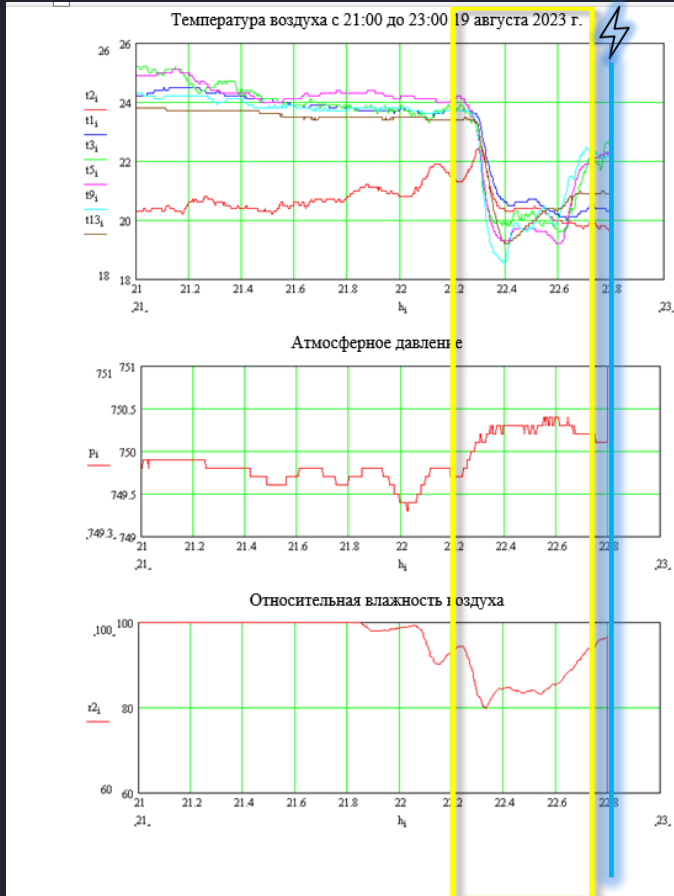
SCP

SCS

SSI

CG Flash count





- падение Т
- Порывы ветра (с флуктуациями скорости), изменение направления



Обрыв записи данных в 22:47 МСК – **попадание молнии в ВММ:** выход из строя коммутирующего оборудования

Разряд в ВММ, 22:47 МСК



Выводы

1. Значимость сигнатур для наукастинга. Дальнейшая разработка специальных критериев угрозы (определенных ОЯ)
2. Хороший сигнал (для разных ОЯ): WER, ET 55, 60 dBZ – оценка динамики
3. POSH (вероятность кр. града), MESH (максимальный расчетный размер градин), SHI – первое подтверждение эффективности для града. Для большей надежности – сопоставление с др. параметрами.
4. Веб-ГИС: возможность наложения различных диагностических (и прогностических) параметров (радарных, спутниковых, грозопеленгационных, модельных), оценка временного хода, пространственной локализации – важно в комплексном анализе случаев (исследования), наукастинга, верификации прогнозов WRF
5. Учет синоптической ситуации и крупномасштабных условий для формирования определенных ОЯ
6. Поиск наиболее значимых модельных предикторов для различных ОЯ
7. Продолжение изучения проявления различных конвективных процессов и ОЯ по данным измерений в приземном слое (ВММ)

В настоящее время – работа по статистической оценке прогностической значимости различных параметров за многолетний период по всей ЕТР

Спасибо за внимание!

