

# 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»



ИФЗ  
РАН



Спрыгин А.А.<sup>1,2</sup>, Калмыкова О.В.<sup>1,2</sup>, Кулижникова Л.К.<sup>1</sup>, Мацкевич М.К.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Научно-производственное объединение "Тайфун", Росгидромет

<sup>2</sup>Институт физики атмосферы РАН

Email: spralexandr@gmail.com

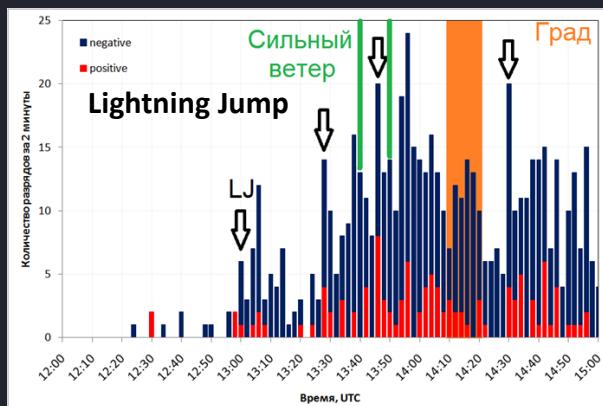
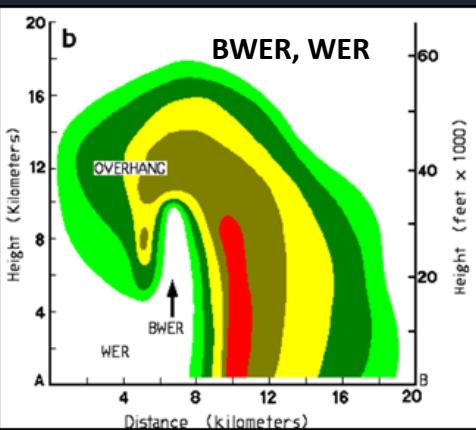
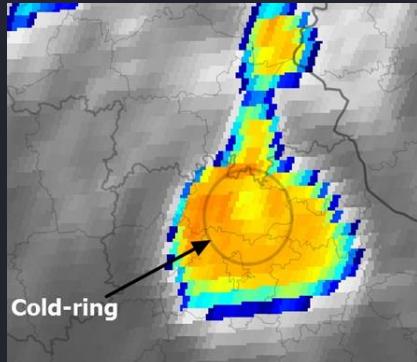
1. Демонстрация возможностей диагноза и прогноза (на разл. врем.интервалах) конвективных ОЯ с помощью объединения и анализа данных различного типа – на примере Веб ГИС НПО Тайфун
2. Анализ различных предикторов для ОЯ различного типа – на примерах нескольких значимых событий
3. Сопоставление дистанционных 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, сигнатурам и экспериментальных критериев по диагностическим данным.

- DWD, KNMI, ...: **карты приземного анализа**
- Meteologix.com: карты реанализа **ERA5**, спутниковые данные **MSG, MTG**
- Meteorad.ru: радарные карты сеть **ДМРЛ-С (1x1 км)**
- Веб-ГИС НПО Тайфун: **WRF (6 км), ДМРЛ (4x4 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



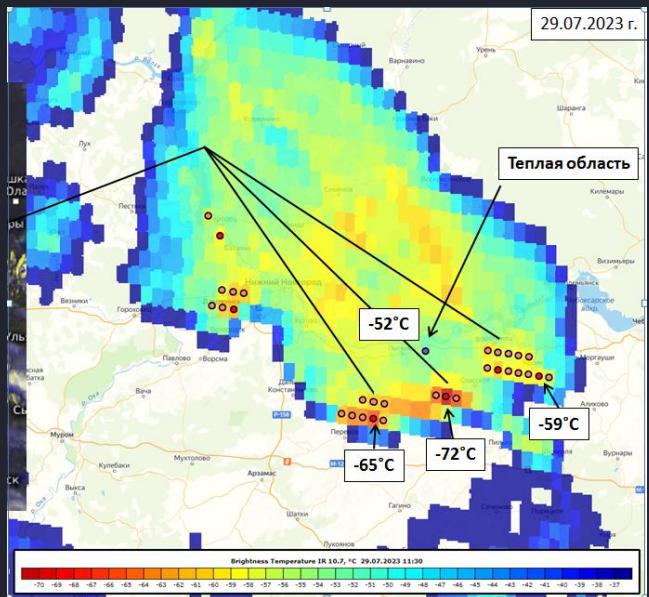
### Заблаговременность по отношению к ОЯ!

Более полный обзор сигналов (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

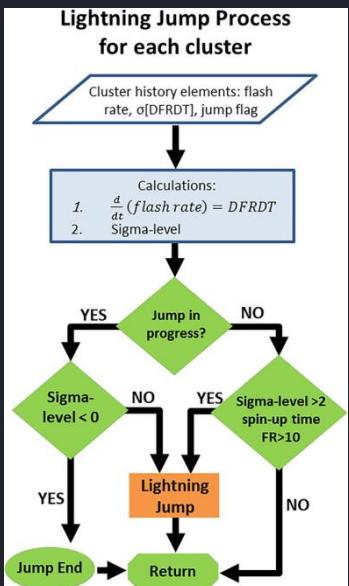
# Авто-распознавание сигналов

OT и Cold-U/V/ring (ATC)

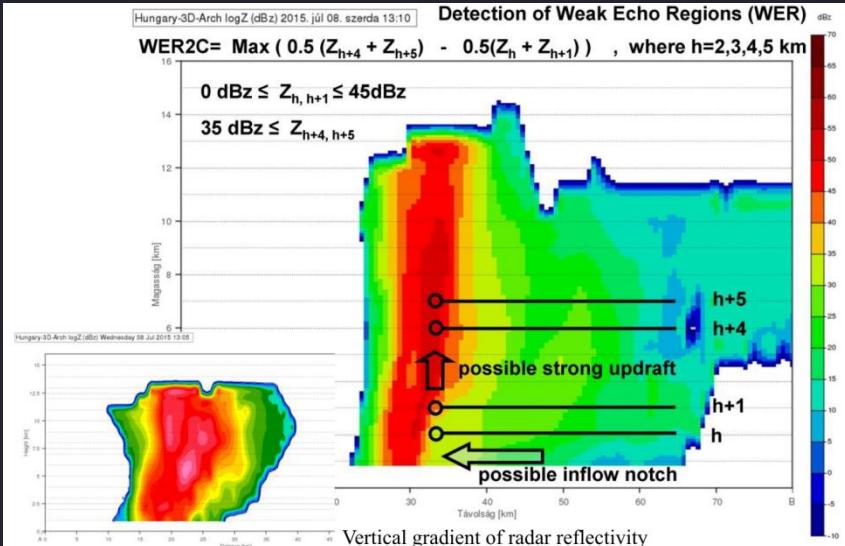


© Bedka K. et al.

LJ (2 sigma)



WER (WER2C)



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 Team)

Large Hail

Max. Hail Diameter: 8 cm  
Krasnoznamensk, Moskva, Russia  
08/06/2025 14:00 UTC (+/- 15 minutes)  
Reporter: Thilo Kühne (ESWD management/ESSL Team)

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

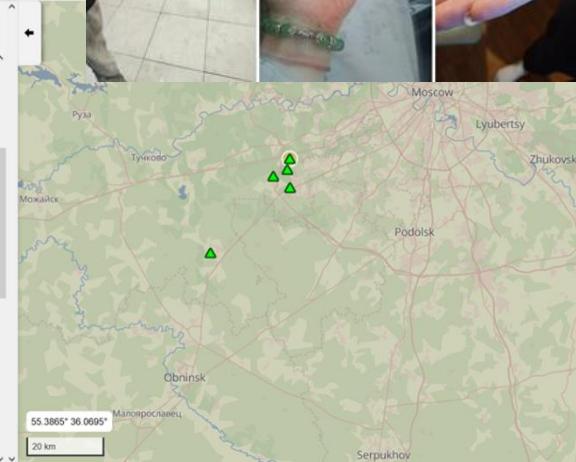
Information Source  
[Website](#) [Eye Witness](#) [Event Photo](#)

External URL(s)  
[vk.com](https://vk.com)

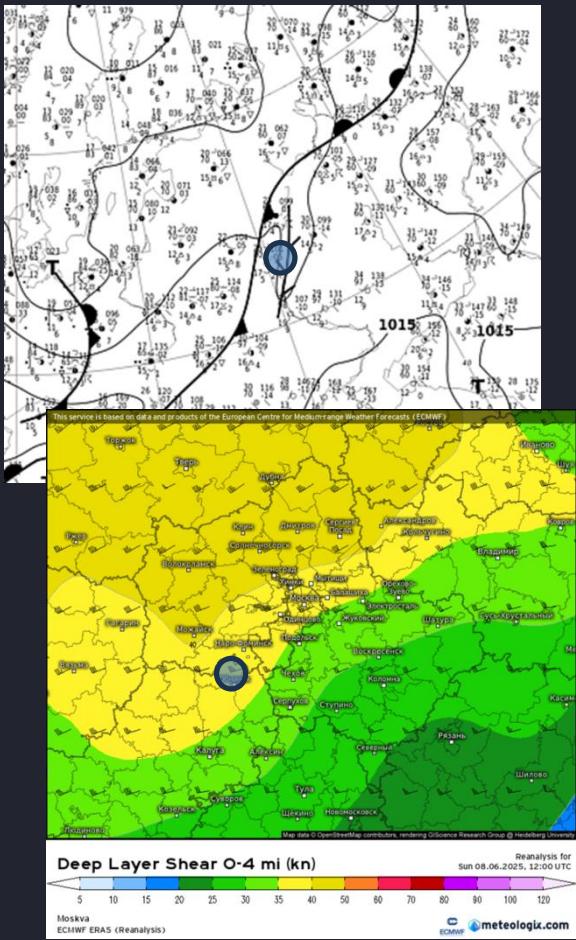
Reference  
Фобос. Катализмы и катастрофы природы.  
(VK). 08 JUN 2025

Max. Hail Diameter  
8 cm

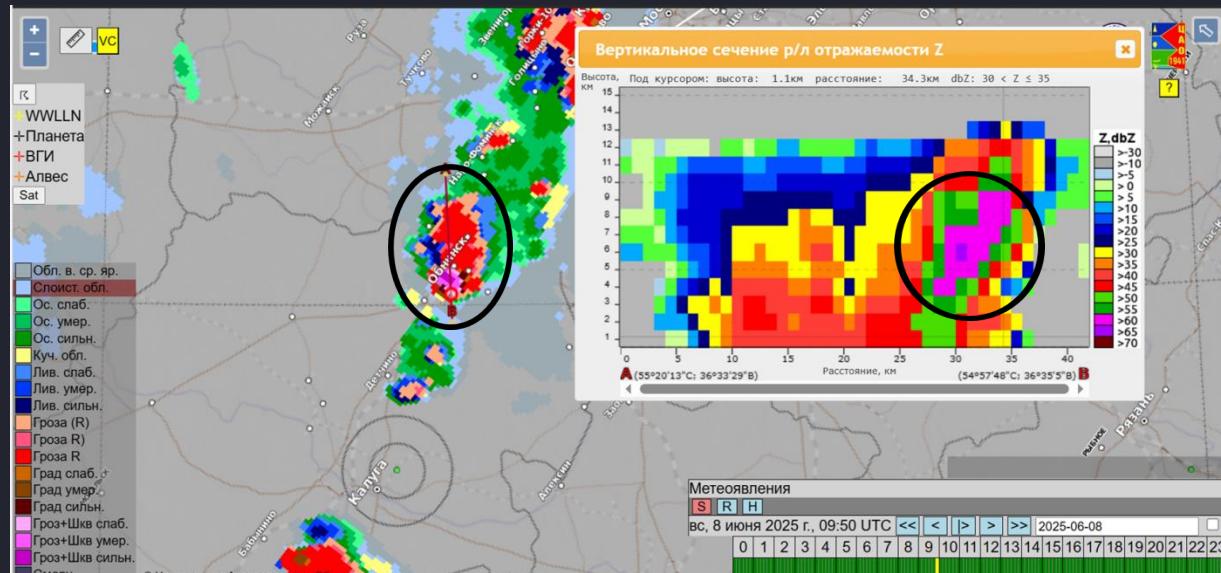
Large Hail



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

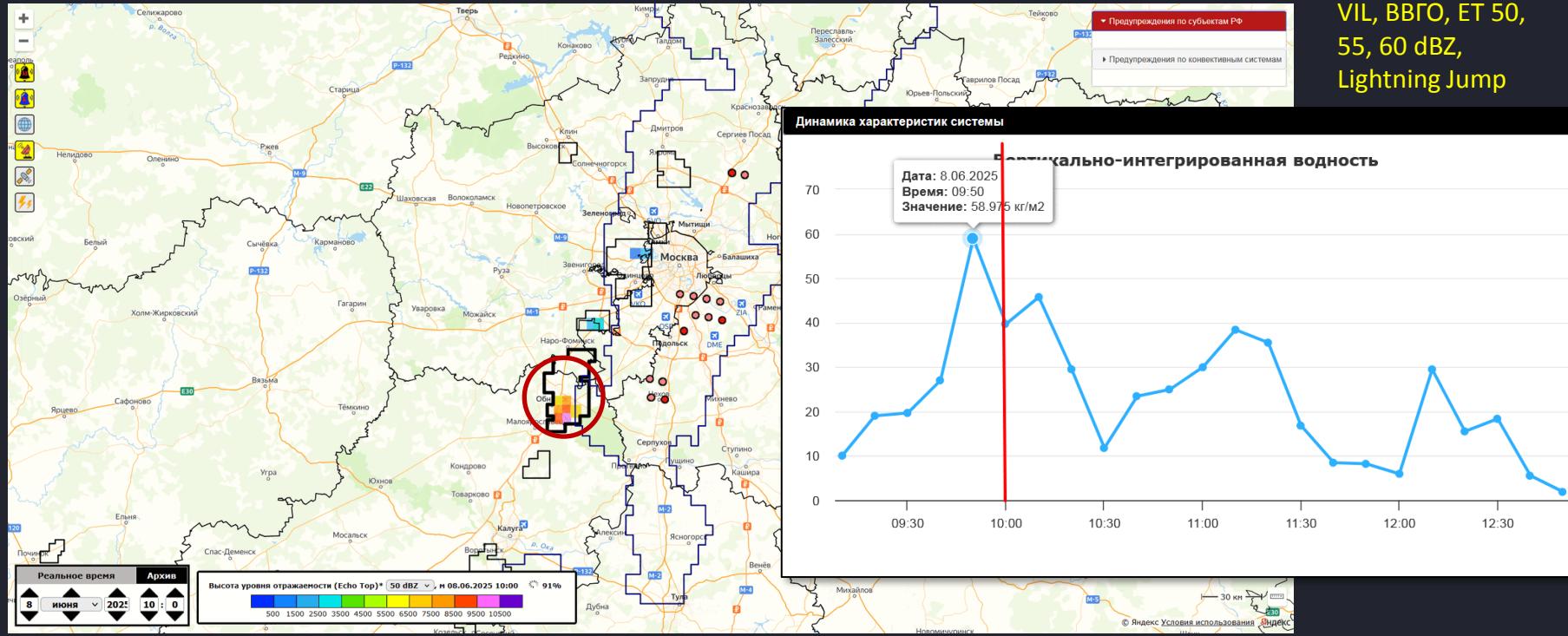


Зона очень высокой отражаемости (>60-65 dBZ) в толще доминирующего шторма на высотах 4-9 км - зона формирования крупных градин



ET 50, 55 dBZ

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



## Характеристики системы (по ДМРЛ)

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	-
Размер по X	25.797 км	Уровень 50 dBZ	9500 м	Anti Thermal Couplet	-
Размер по Y	41.902 км	Уровень 55 dBZ	6500 м	Lightning Jump	-
Объем	7078.911 км <sup>3</sup>	Уровень 60 dBZ*	0 м		

Площадь на уровне Zm	763.397 км <sup>2</sup>	Площадь с z > 45 dBZ	282.852 км <sup>2</sup>
Ср. площадь по слоям	707.822 км <sup>2</sup>	Площадь с z > 50 dBZ	155.113 км <sup>2</sup>
Скорость перемещения	15.643 м/с	Площадь с z > 55 dBZ	72.994 км <sup>2</sup>
Направление движения	70°	Площадь с z > 60 dBZ	0 км <sup>2</sup>

Долгота ц.м.	36.726°	Максимальная POSH*	39.4 %
Широта ц.м.	55.184°	Максимальный SHI*	92.1
Минимальная Zm	35 dBZ	Максимальный MESH*	2.4 см

Максимальная Zm	59 dBZ	Максимальная Z <sub>H</sub> = 0°C*	59 dBZ
Средняя Zm	43.665 dBZ	Максимальная Z <sub>H</sub> = -5°C*	59 dBZ
Порог Zm	35 dBZ	Максимальная Z <sub>H</sub> = -10°C*	59 dBZ

Максимальная VIL	39.699 кг/м <sup>2</sup>	Максимальная Z <sub>H</sub> = -15°C*	57 dBZ
Максимальная VILD*	3.781 г/м <sup>3</sup>	Максимальная Z <sub>H</sub> = -20°C*	54 dBZ
Максимальный водозапас*	27.979 кг/м <sup>2</sup>		

Максимальная VII*	811.749 кг/м <sup>2</sup>	Максимальная ET50 - H_20°C*	2174 м
Максимальная W	39.142 м/с	Максимальная ET60 - H_20°C*	0 м
Макс. интен. осадков	115.2 мм/ч	Максимальная ET50 - H_0°C*	5088 м

Макс. сумма осадков (14)	24.66 мм	Максимальная ET60 - H_0°C*	0 м
Приращение Z1	8 dBZ	Максимальная ET45 - H_0°C*	6088 м
Макс. код метеоаварий	шквал сильный (18)		

Частота молн. вспышек	10.9 всп./мин	sbcrape	▼
Макс. плот. молн. вспышек	0.164 всп. / (мин * км <sup>2</sup> )		
Доля пол. молн. вспышек	49.541%		

Параметры системы по данным:  
ДМРЛ, ГПС

Зона	Макс. Z <sub>m</sub> dBZ	ср. Z <sub>m</sub> dBZ	Макс. Zdr dB	Мин. Vr м/с	Макс. Vr м/с	Макс. град. Vr	Мин. MARC	Макс. MARC	Площадь, км <sup>2</sup>
0-1000:	56	8.635	1.7	-12	-8.5	3	-0.00069	0.00091	666.072
1000-2000:	54	10.52	3.3	-15.5	-10.5	4.5	-0.00165	0.00165	678.237
2000-3000:	54	11.849	1.5	-20	-13	6	-0.0016	0.00124	644.782
3000-4000:	56	18.975	1.2	-24	-15	6.5	-0.00174	0.00248	736.024
4000-5000:	59	18.027	1.1	-27	-17	7	-0.00175	0.00264	687.361
5000-6000:	59	15.502	0.9	-27	-15	9.5	-0.00238	0.00302	714.734
6000-7000:	57	13.179	0.4	-25	-16.5	8	-0.00261	0.00281	714.734
7000-8000:	54	11.538	0.1	-24.5	-15	8.5	-0.00265	0.00178	723.859
8000-9000:	52	19.366	0	-24	-13	6.5	-0.00248	0.00178	723.859
9000-10000:	51	26.362	0.1	-23.5	-13	6	-0.00135	0.00314	748.19
10000-11000:	46	22.691	-5	-409.6	-409.6	-409.6	-409.60001	-409.60001	748.19

Динамика характеристик

3D визуализация системы

**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):

$$\dot{E} = 5 \times 10^{-6} \times 10^{0.084Z}$$

$$SHI = 0.1 \int_{H_n}^{H_T} W_T(H) W(Z) \dot{E} dH.$$

**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.

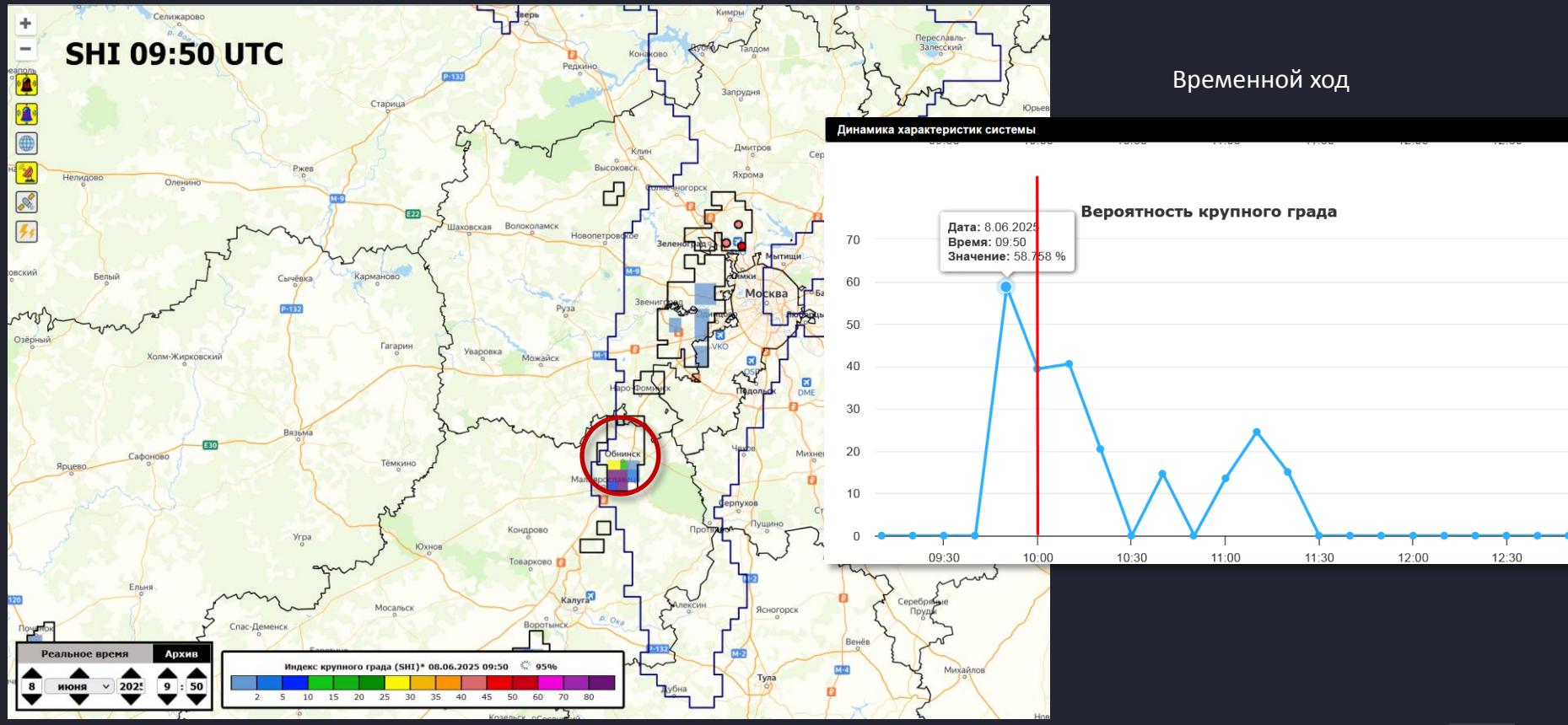
$$D = k \cdot Z^a \cdot T^b$$

Алгоритм использует:

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

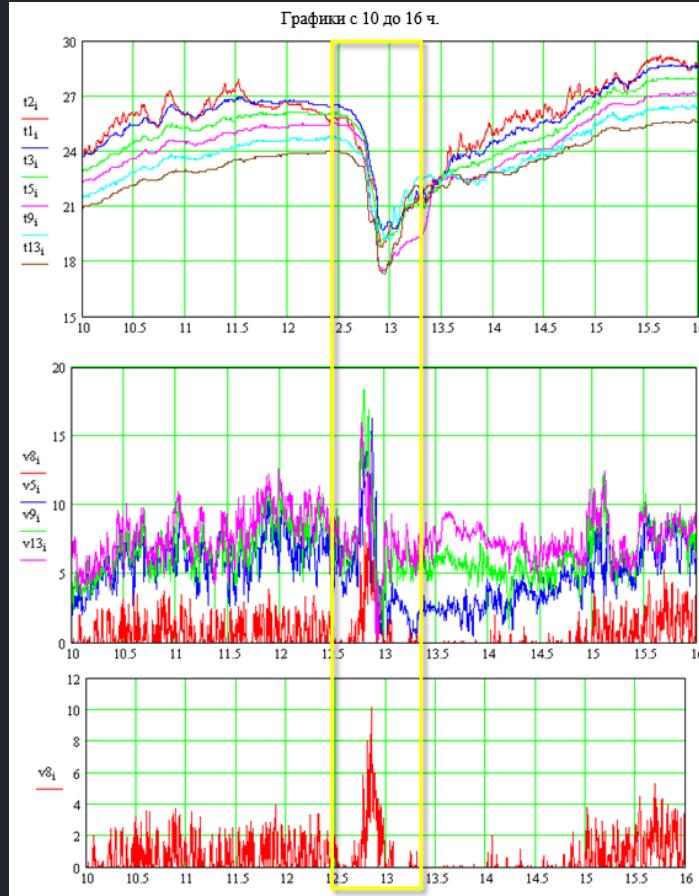
Результат выражается в миллиметрах (диаметр градин).

## Индексы града: SHI, MESH

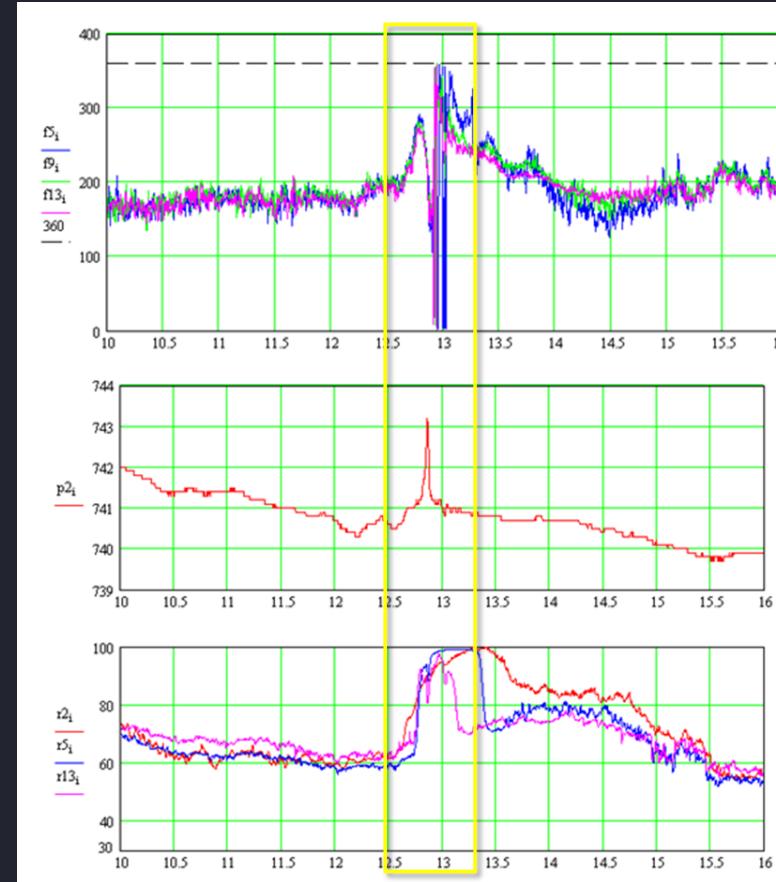


## Данные ВММ + наземный полигон: изменения во время града

Температура, скорость ветра



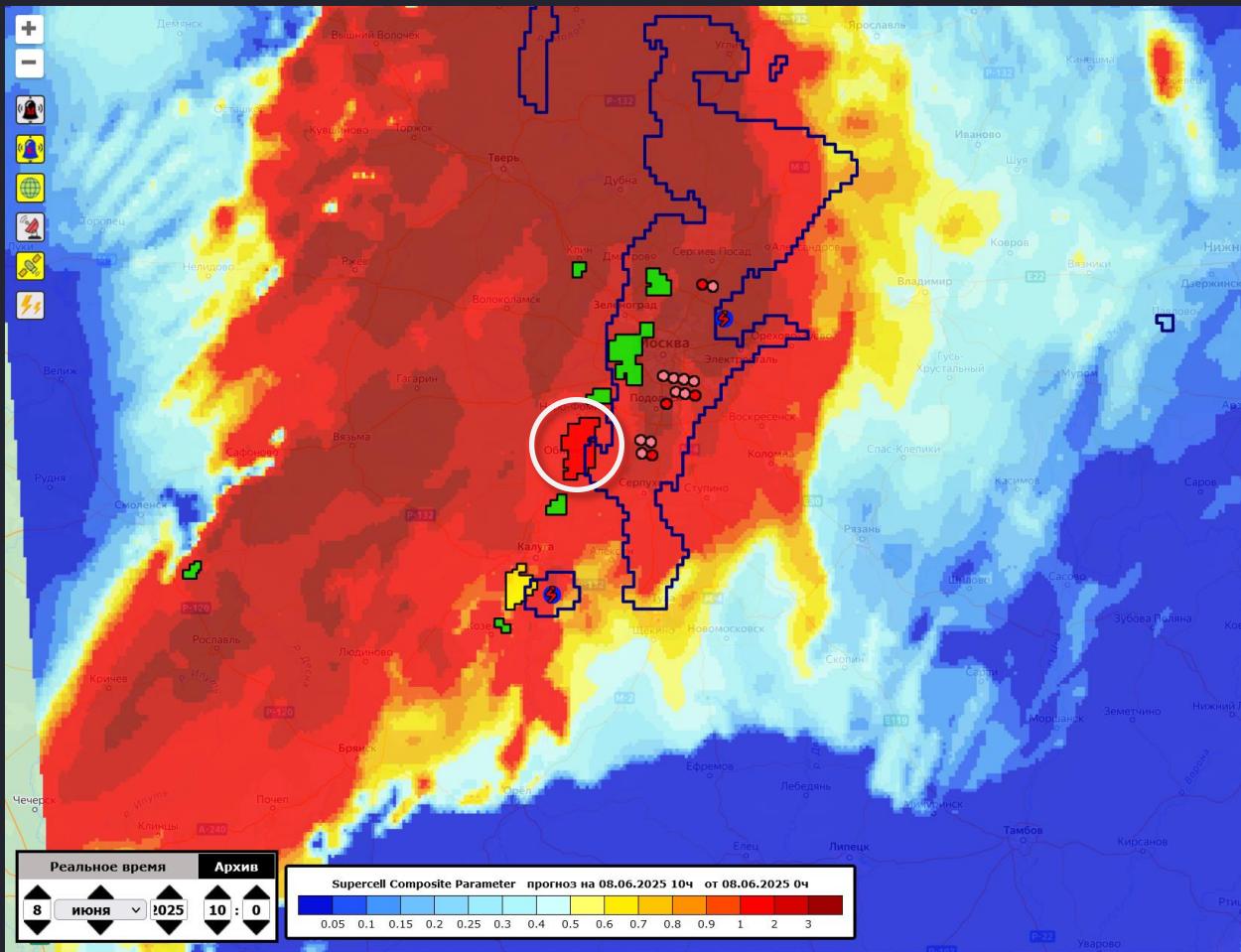
Направление ветра, давление, влажность



## Индексы (WRF): на 10 ч UTC

...

SCP  
UH  
SHIP  
DLS  
LI



## Индексы (WRF): на 10 ч UTC

...

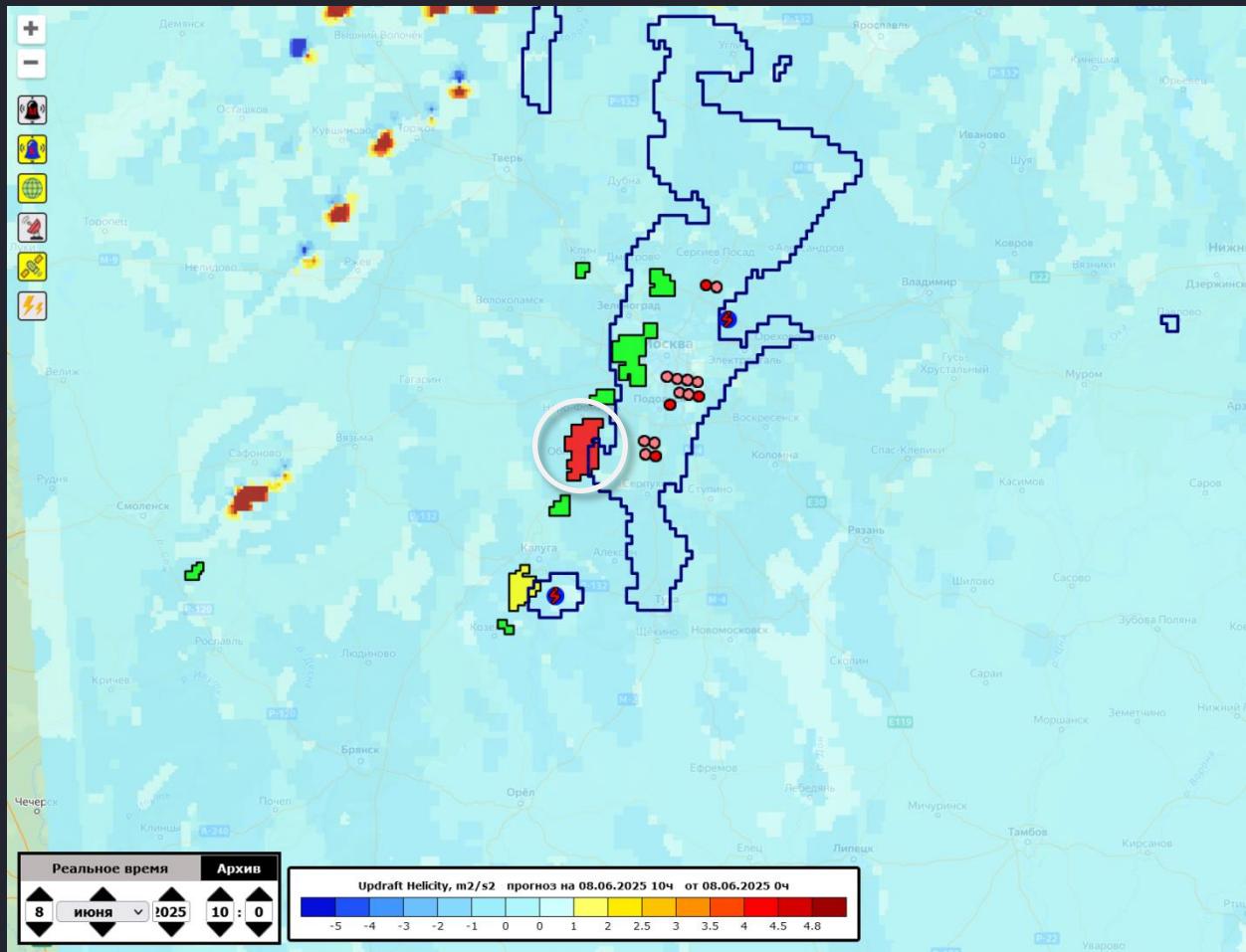
SCP

UH

SHIP

DLS

LI



## Индексы (WRF): на 10 ч UTC

...

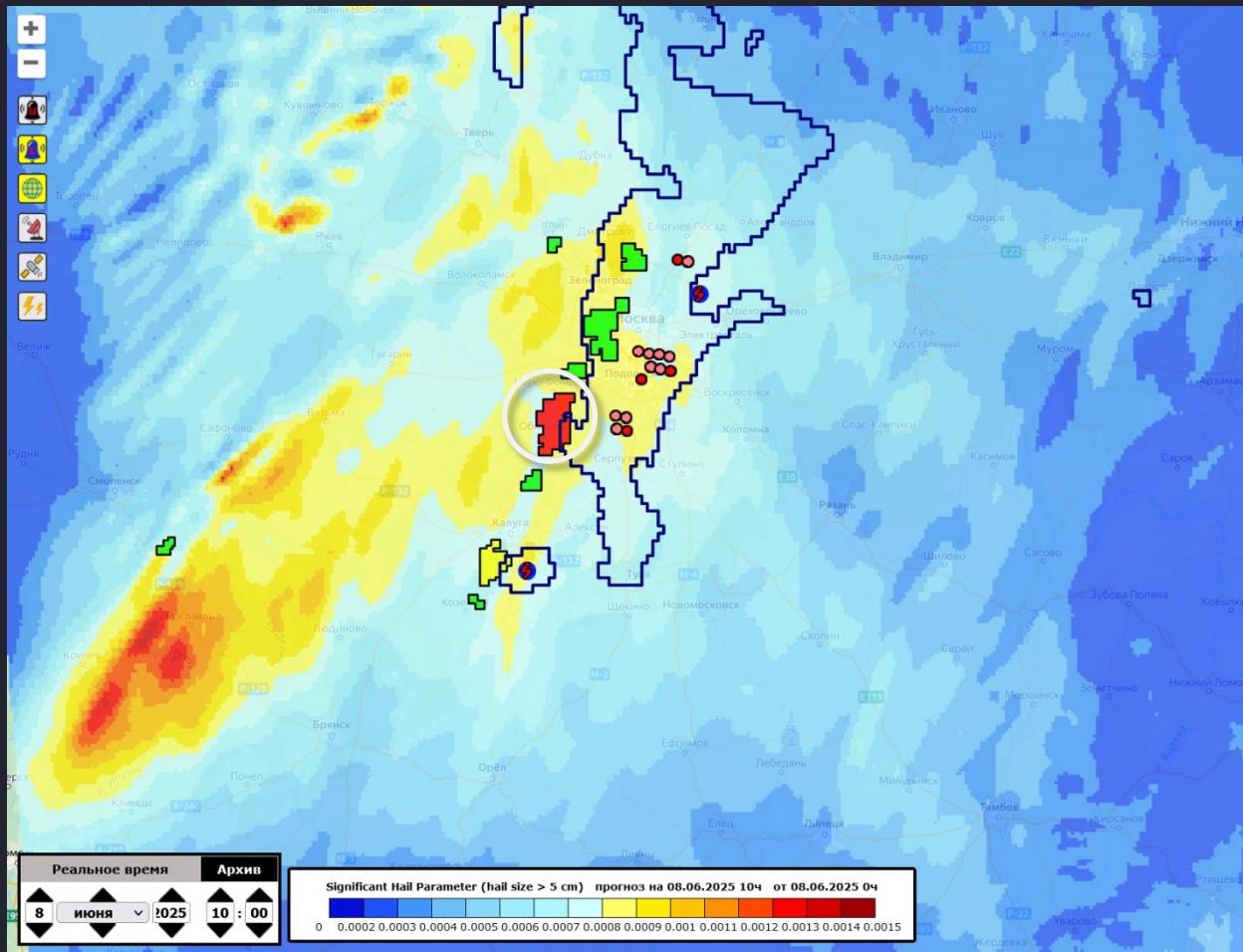
SCP

UH

SHIP

DLS

LI



## Индексы (WRF): на 10 ч UTC

...

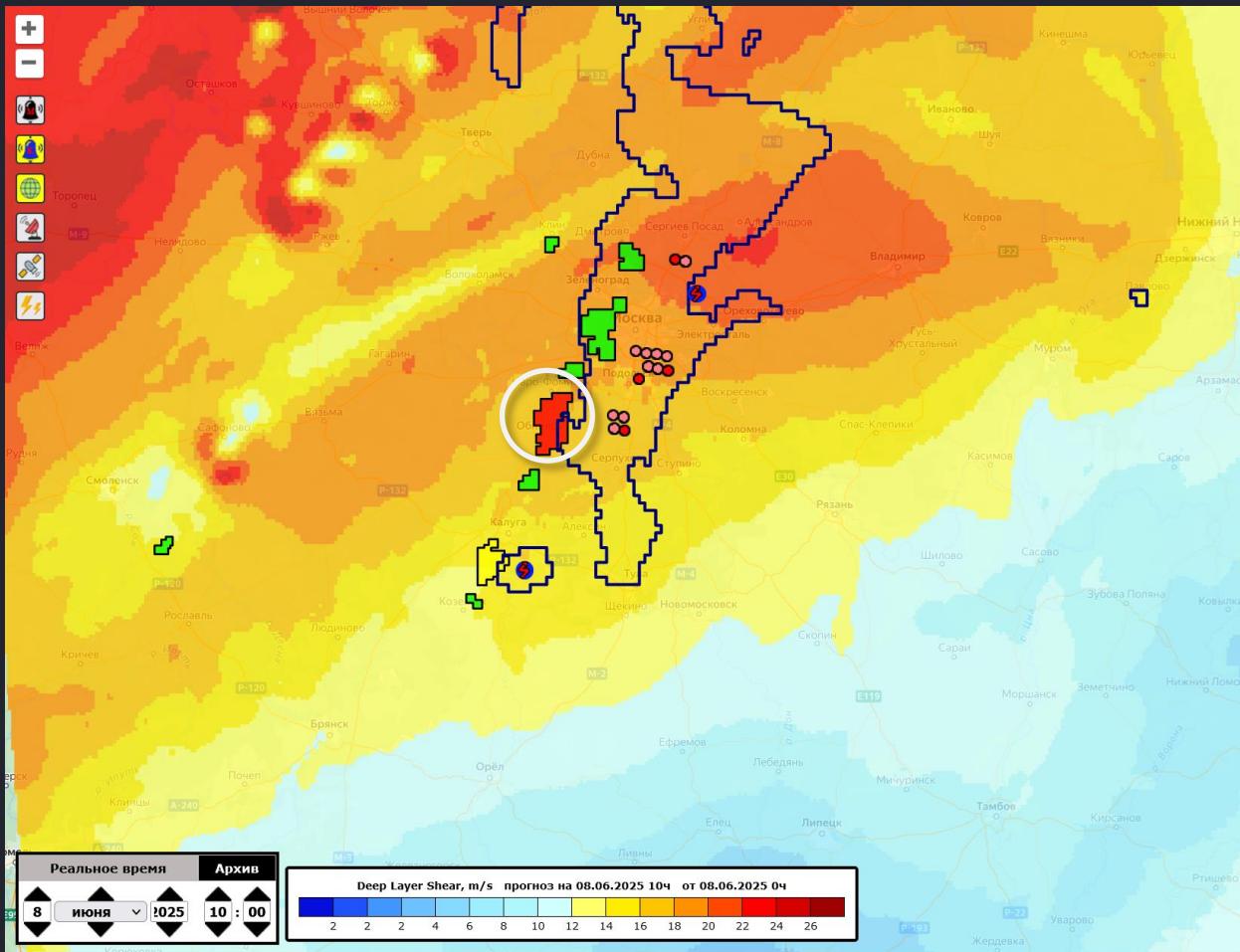
SCP

UH

SHIP

DLS

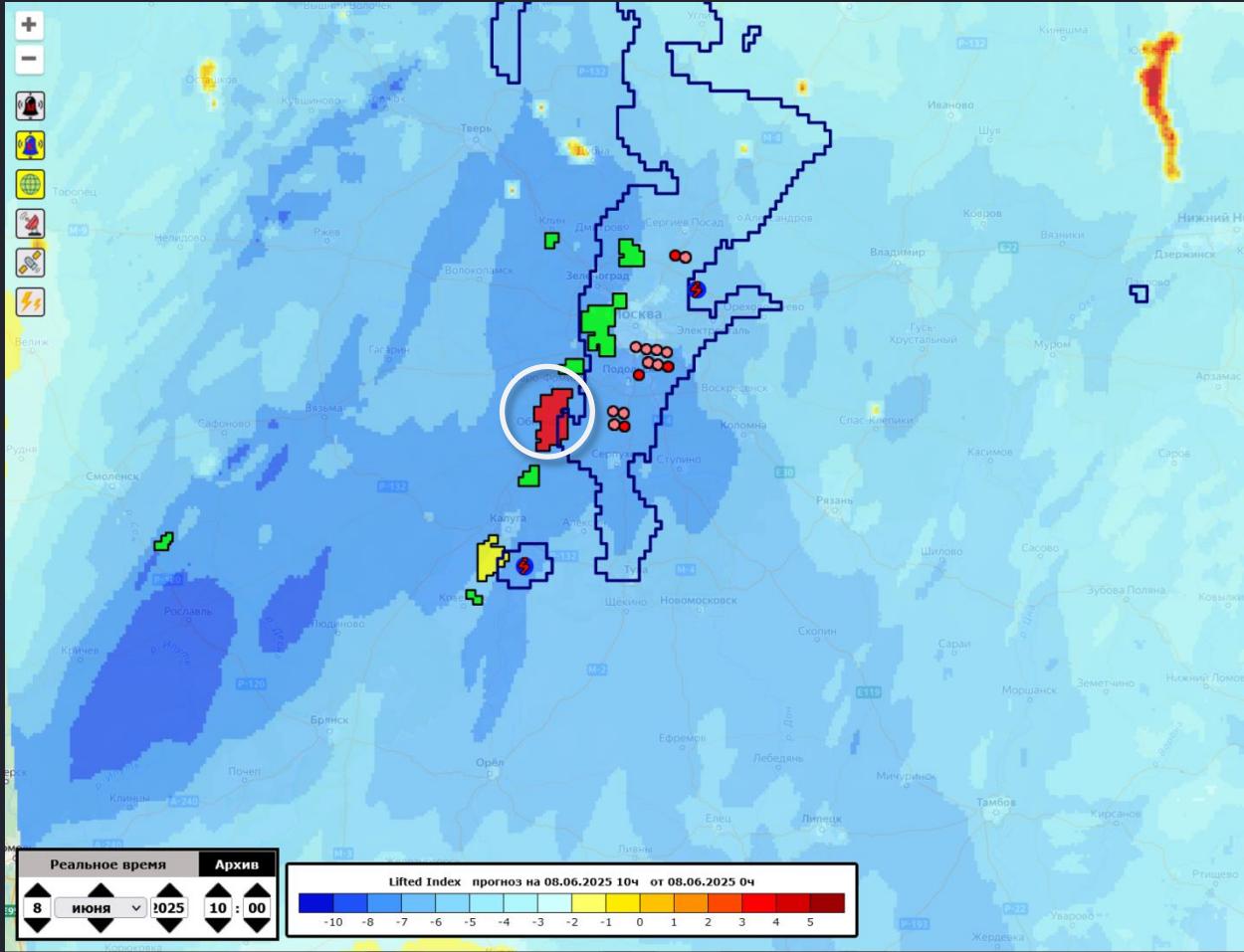
LI



## Индексы (WRF): на 10 ч UTC

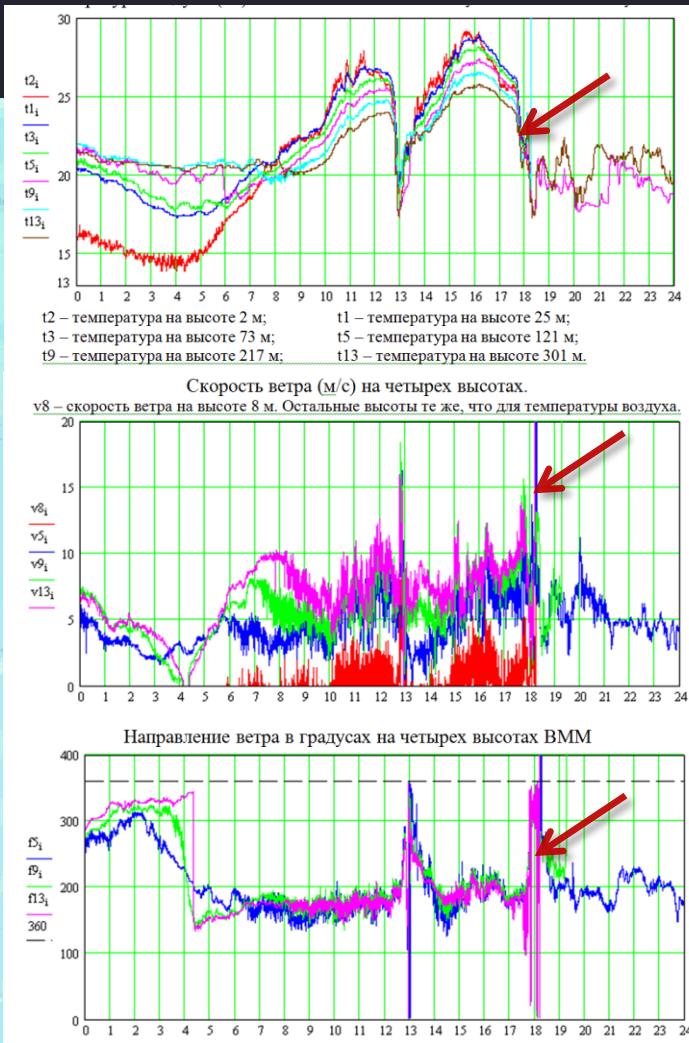
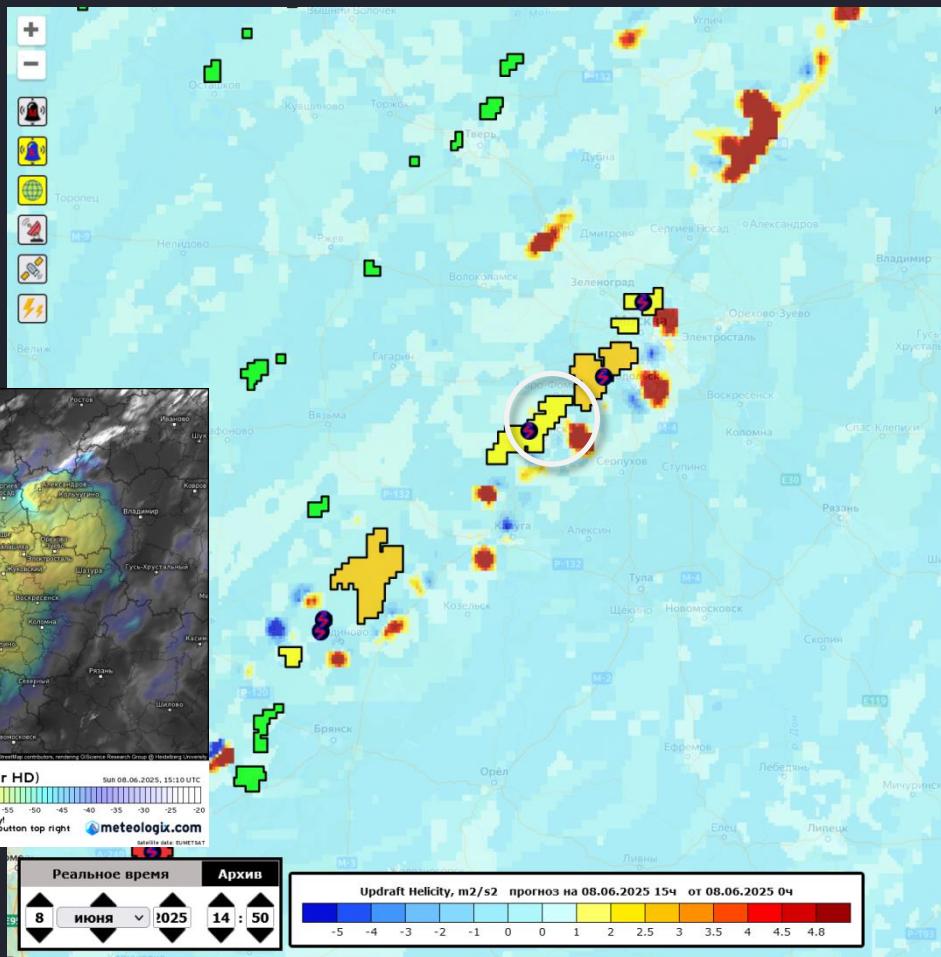
...

SCP  
UH  
SHIP  
DLS  
LI



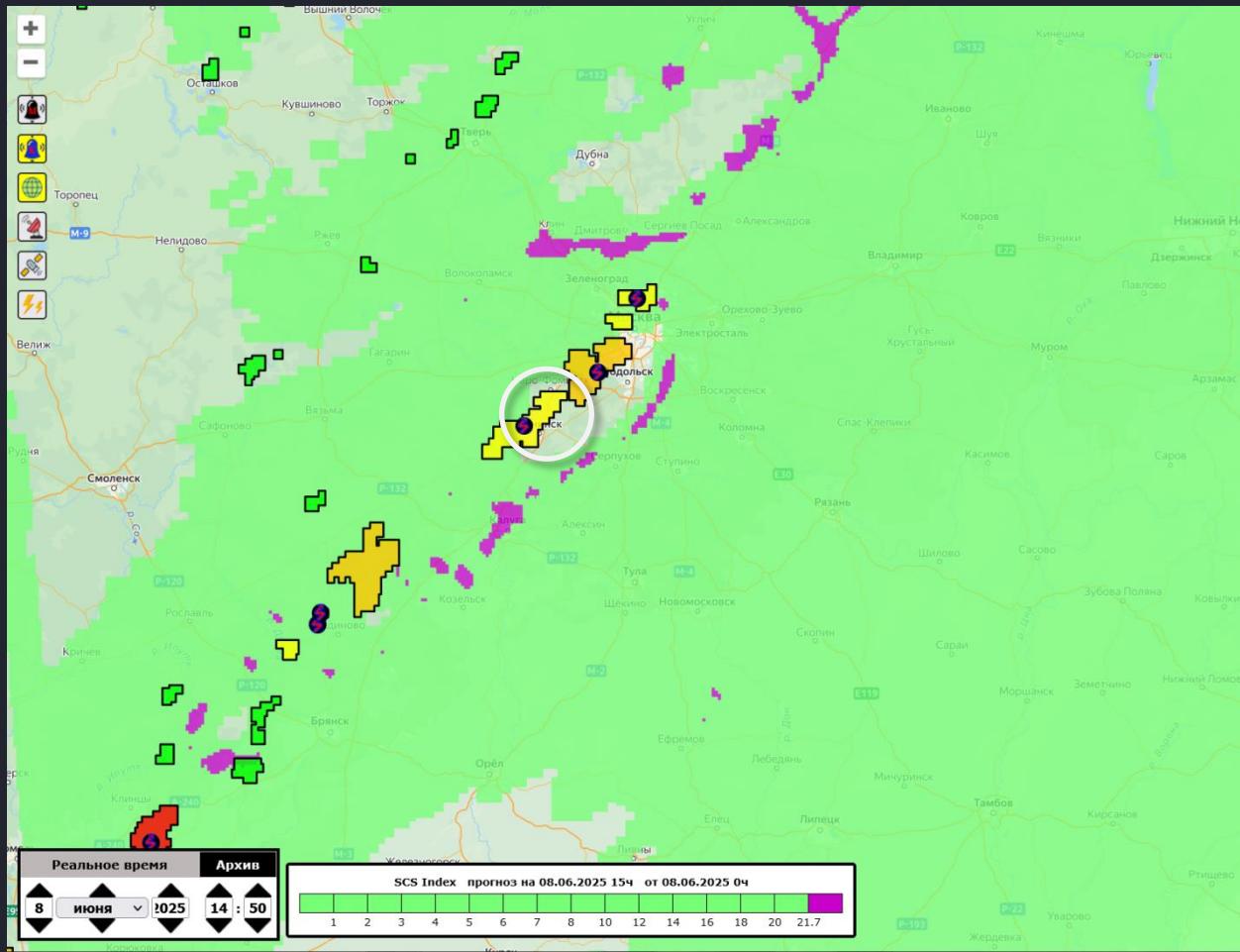
... и на 15 ч UTC: прохождение ХФ: 2й шквал

UH  
SCS  
Max dBZ  
WDP



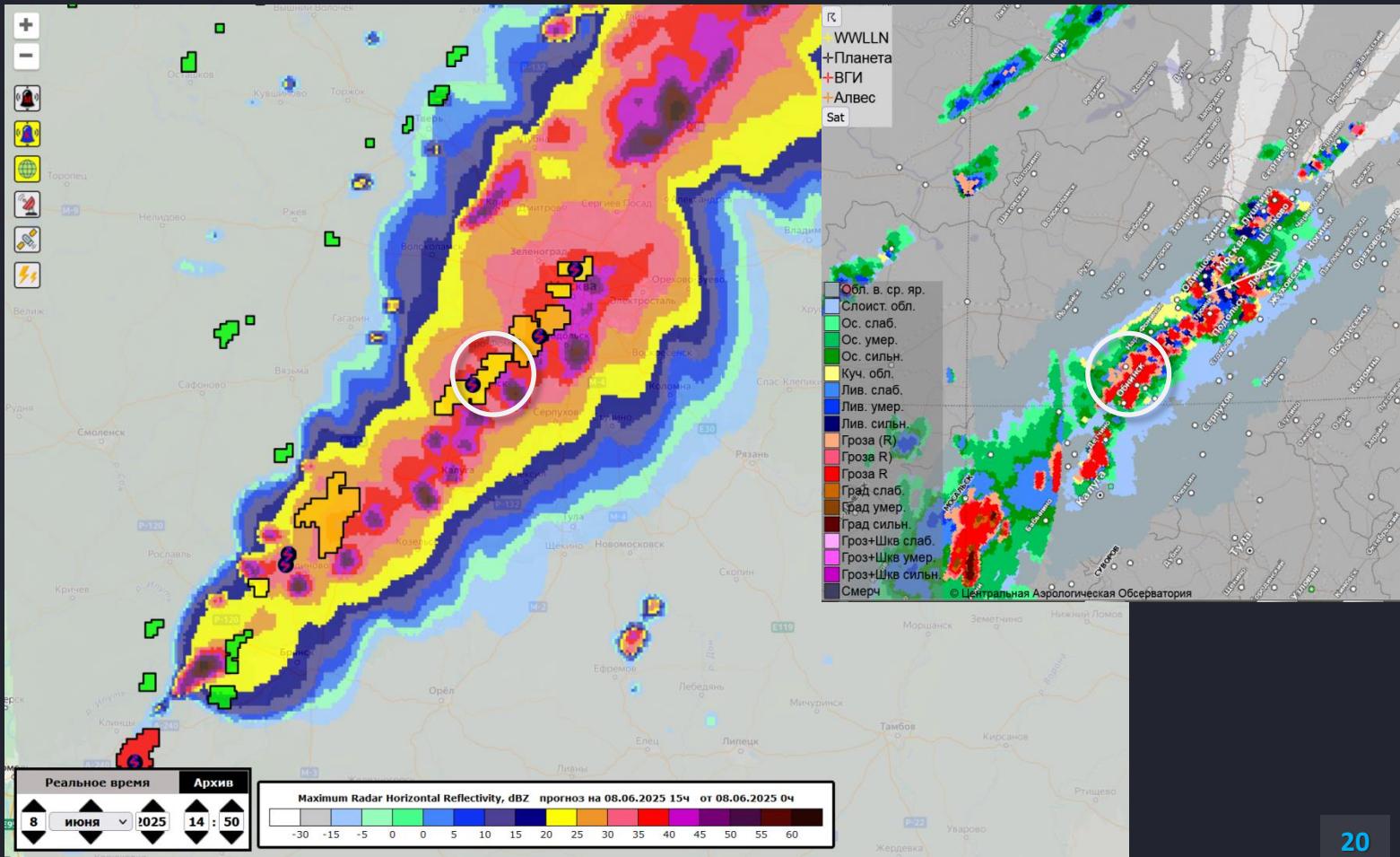
... и на 15 ч UTC

UH  
SCS  
Max dBZ  
WDP



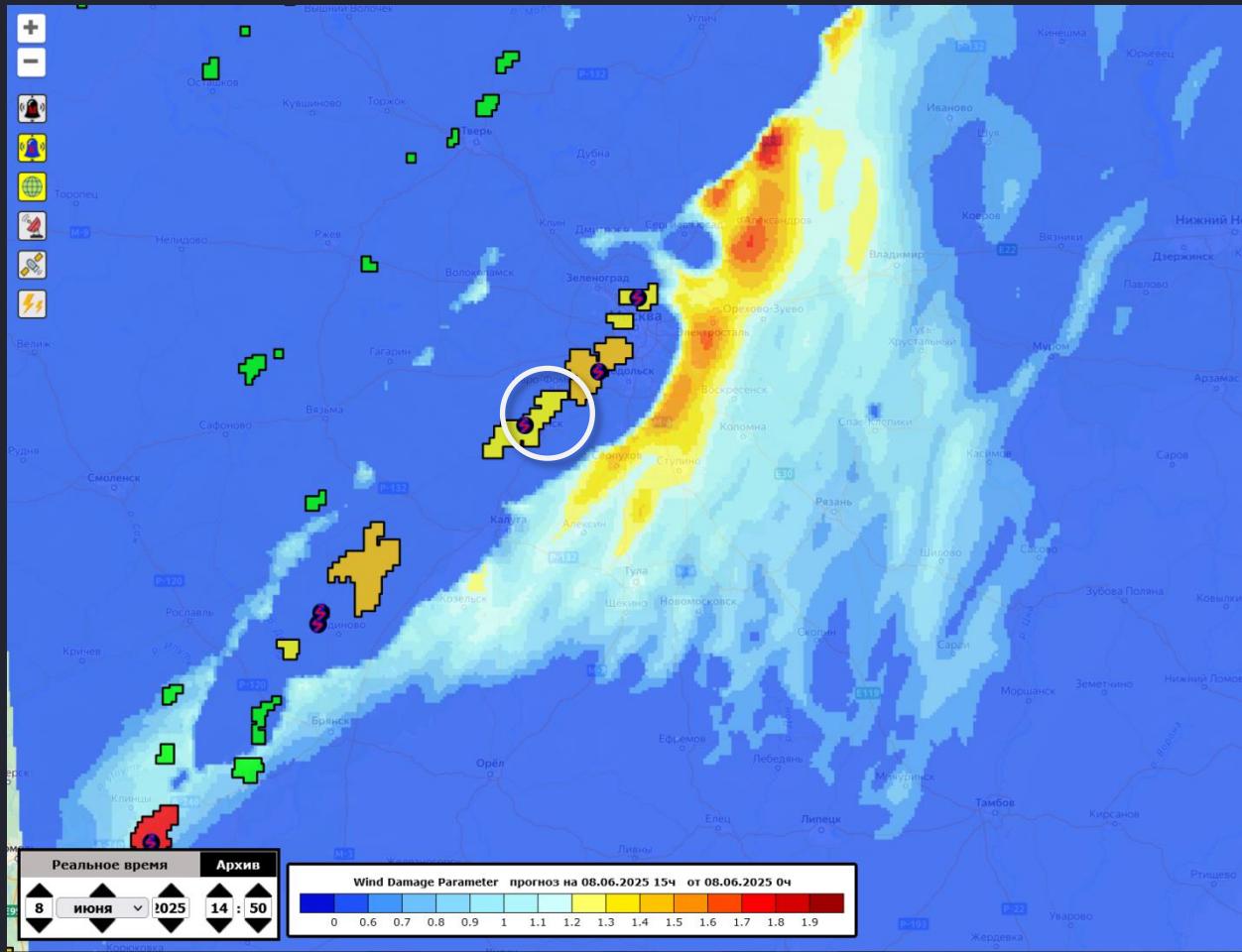
... и на 15 ч UTC

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



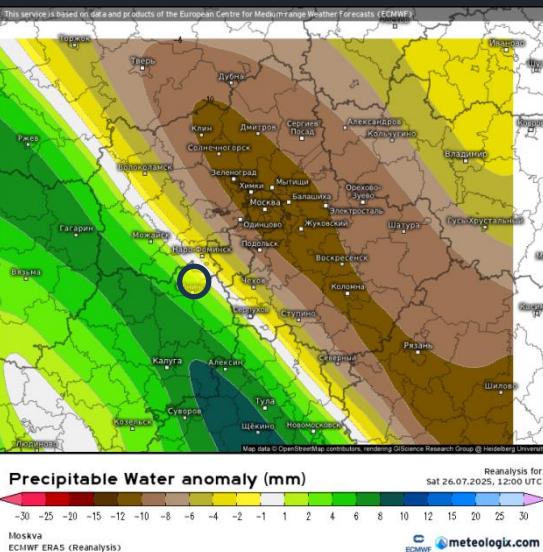
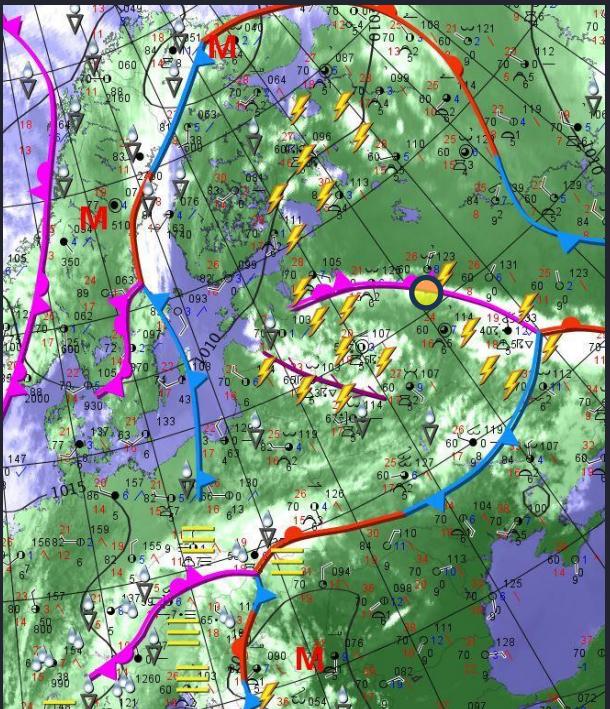
Данные (10-мин) АМС (полигон ВММ)

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

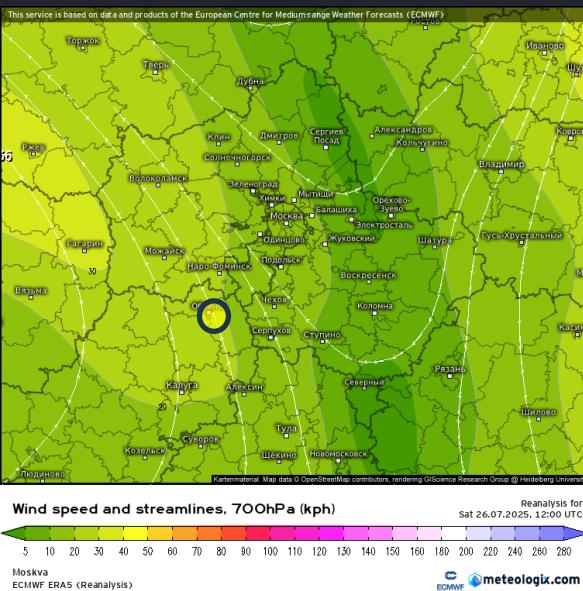


## Линейная конвективная система (на ФО) – через Обнинск.

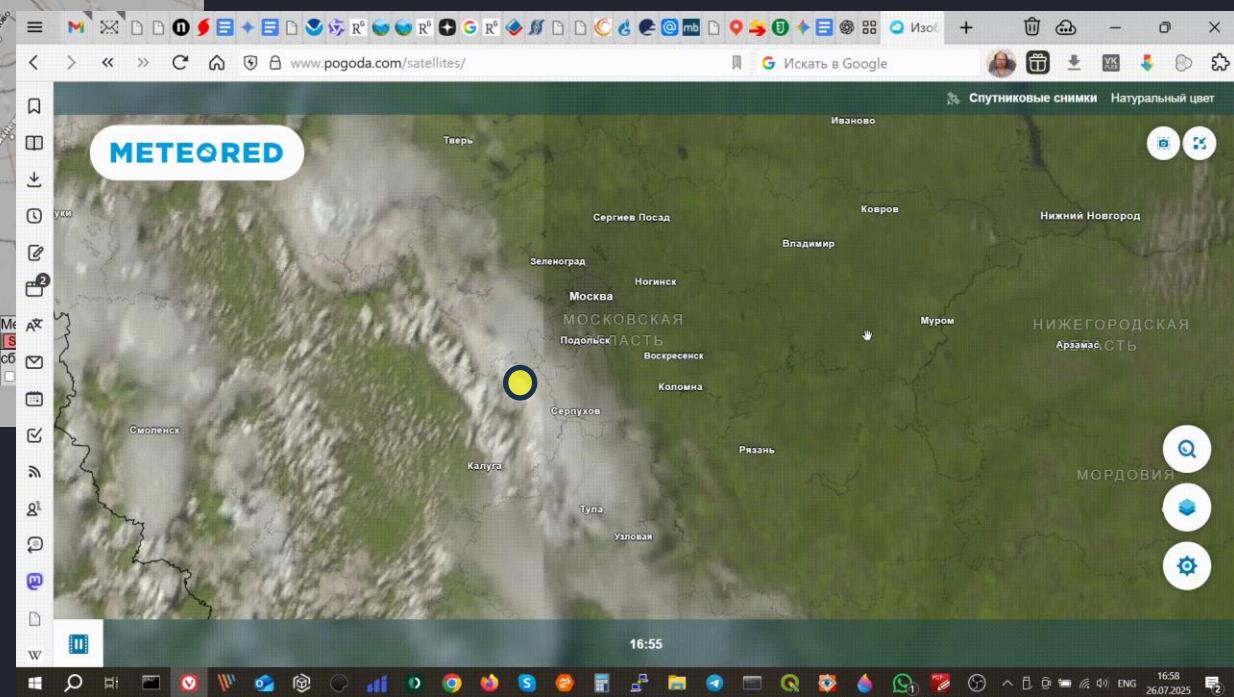
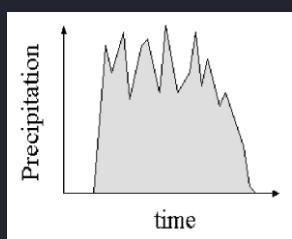
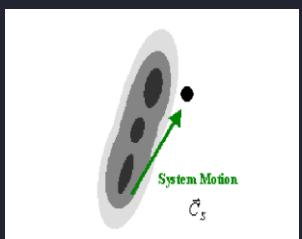
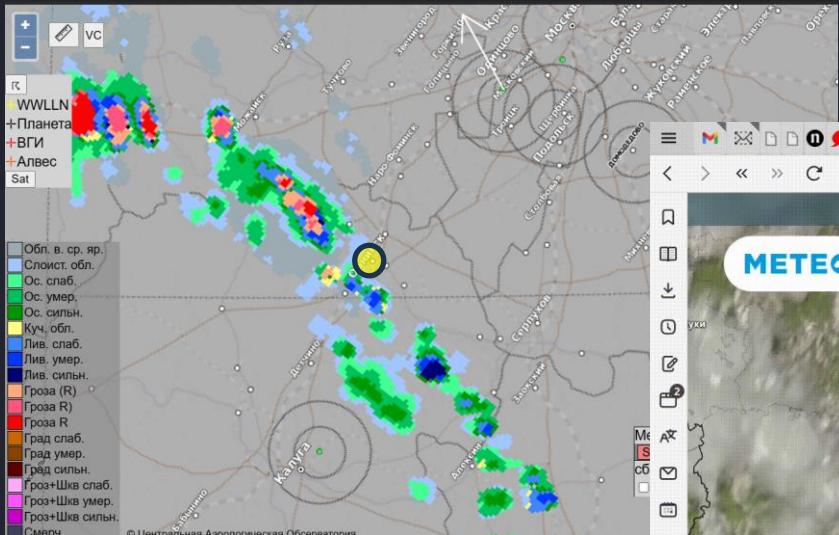
! Фронт на границе раздела влажной и очень сухой ВМ («сухая линия»)



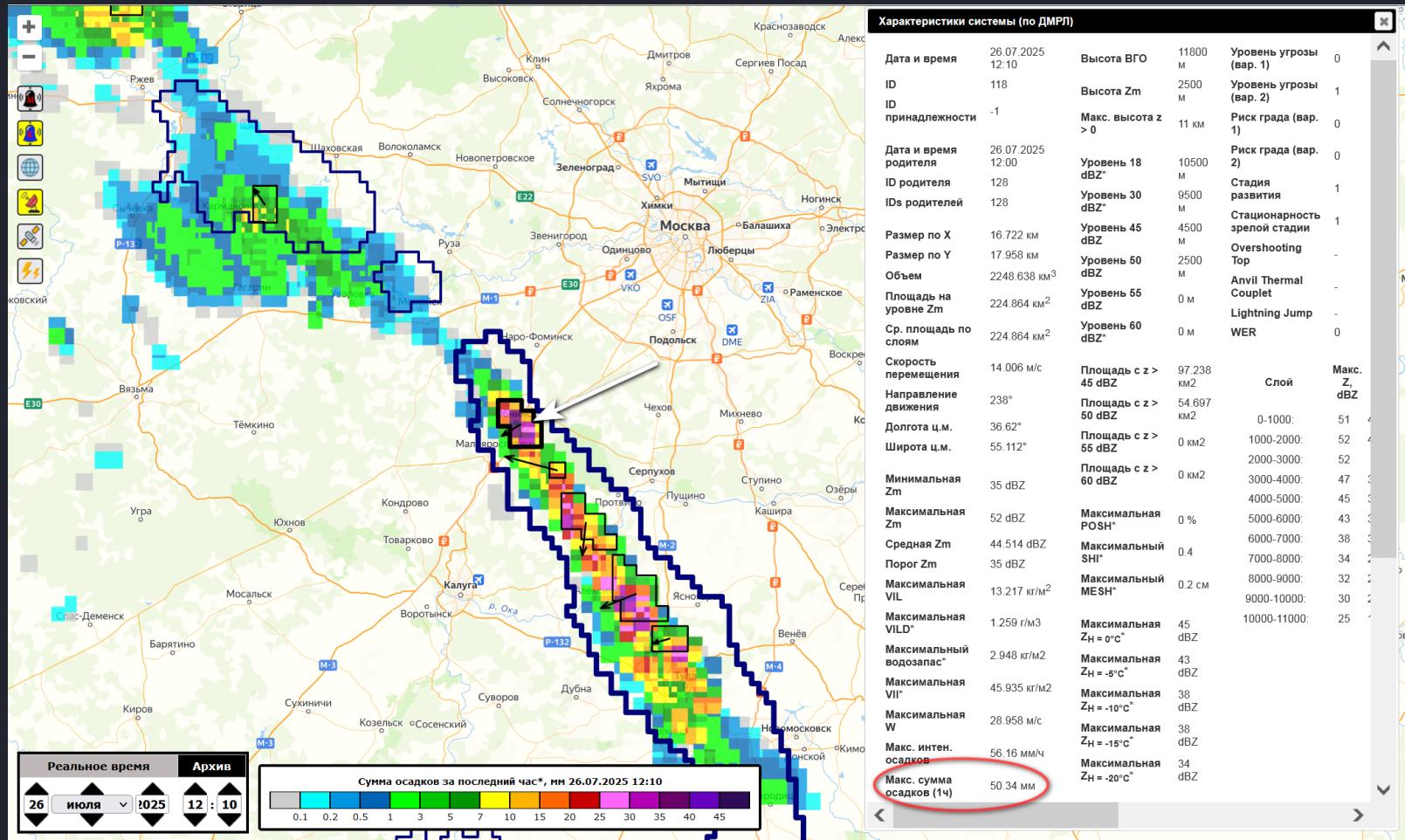
! Слабый ведущий поток (ЮЮВ, 20 км/ч)



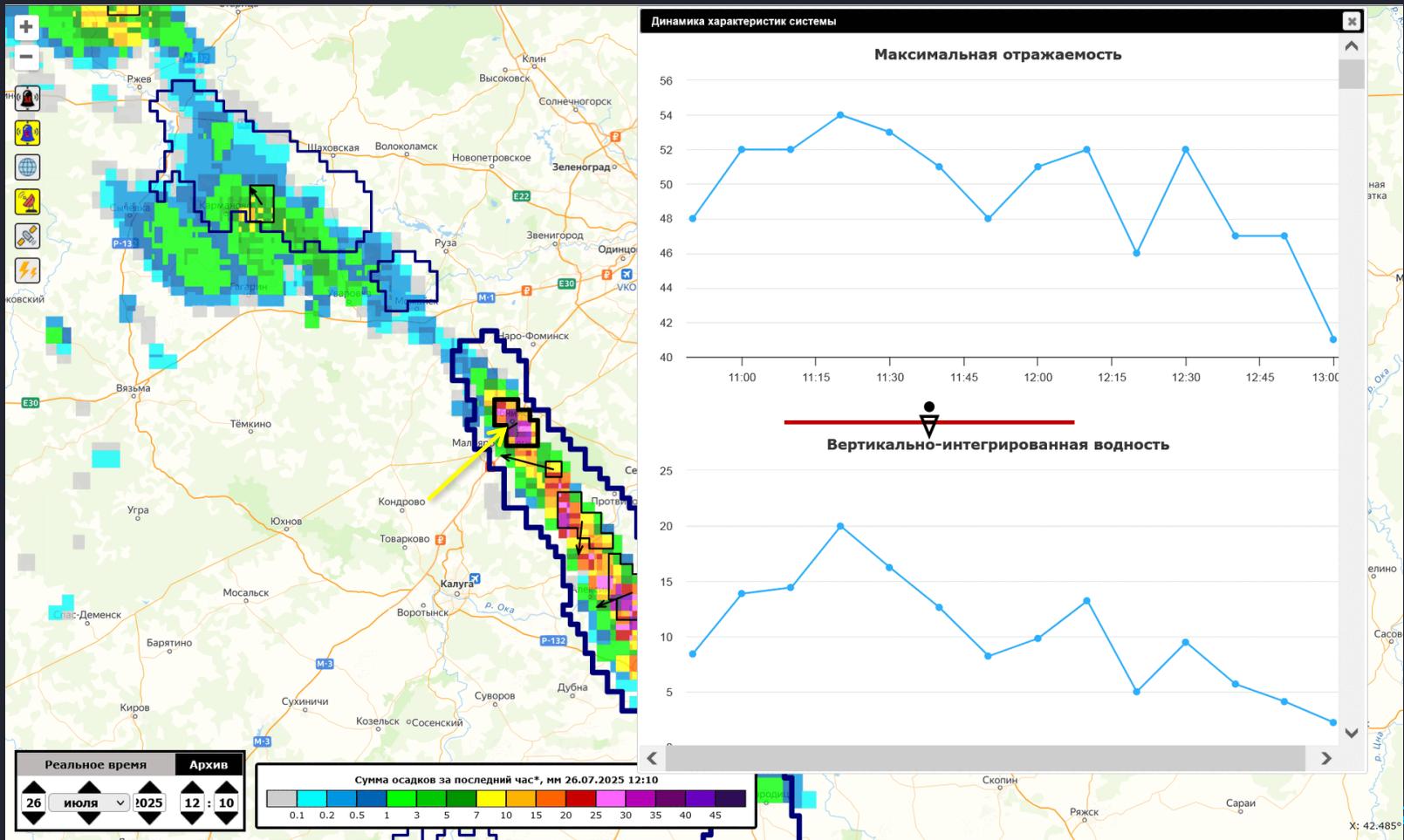
**Train effect** – последовательное прохождение через пункт наблюдения растущих активных конвективных очагов вдоль малоподвижной линейной МКС.



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



## Динамика параметров



## Модельные параметры (WRF)

на 12 UTC

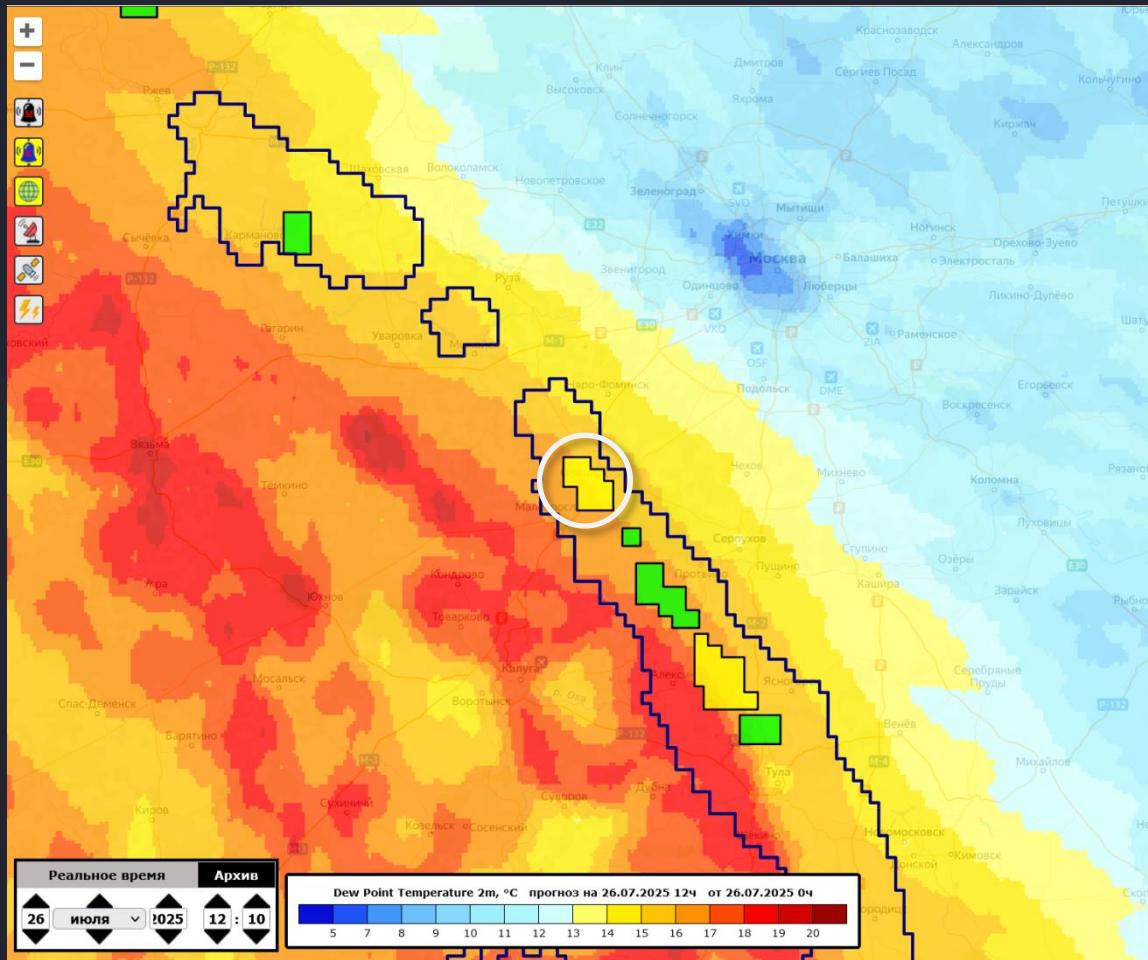
Dew point

RH 700 hPa

Max dBZ

VIMFC

SSI



## Модельные параметры (WRF)

на 12 UTC

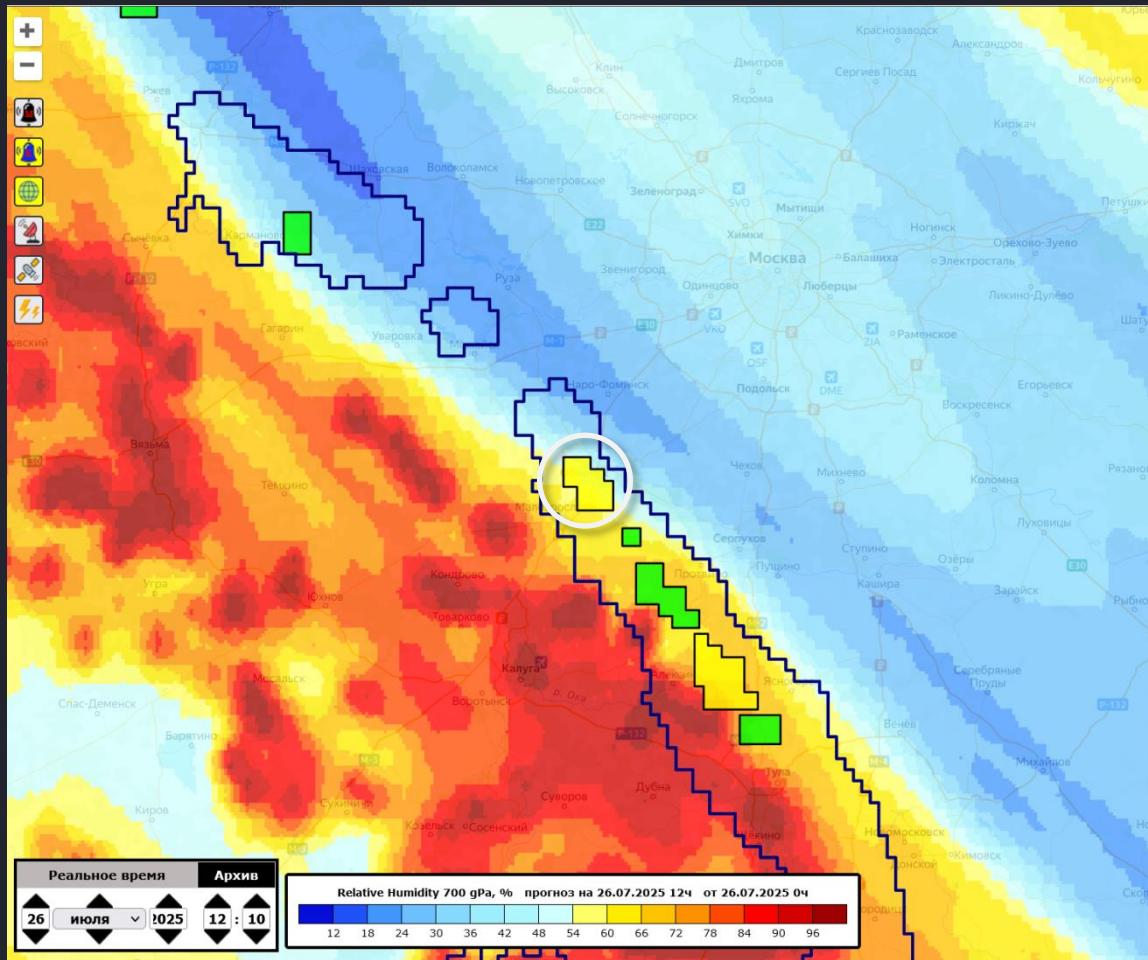
Dew point

RH 700 hPa

Max dBZ

VIMFC

SSI



## Модельные параметры (WRF)

на 12 UTC

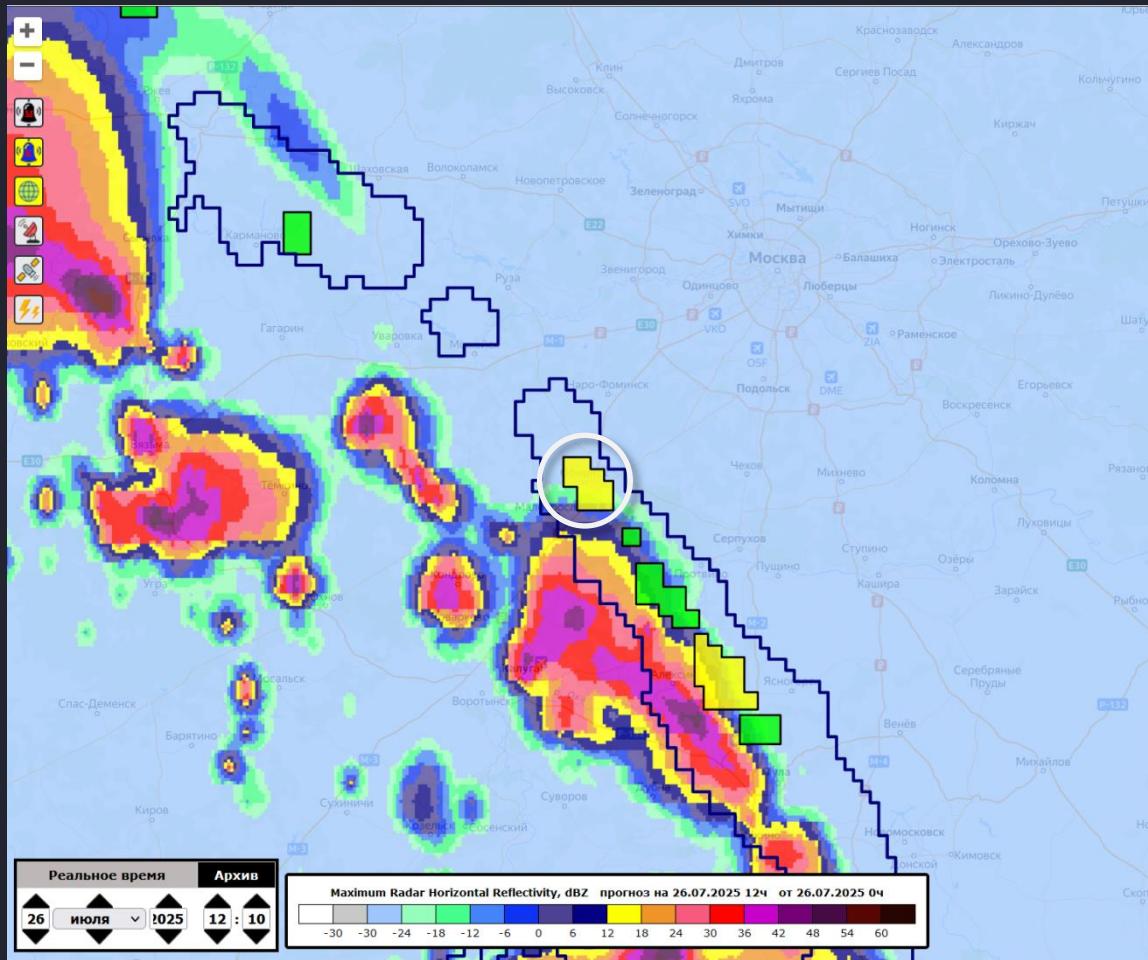
Dew point

RH 700 hPa

Max dBZ

VIMFC

SSI



## Модельные параметры (WRF)

на 12 UTC

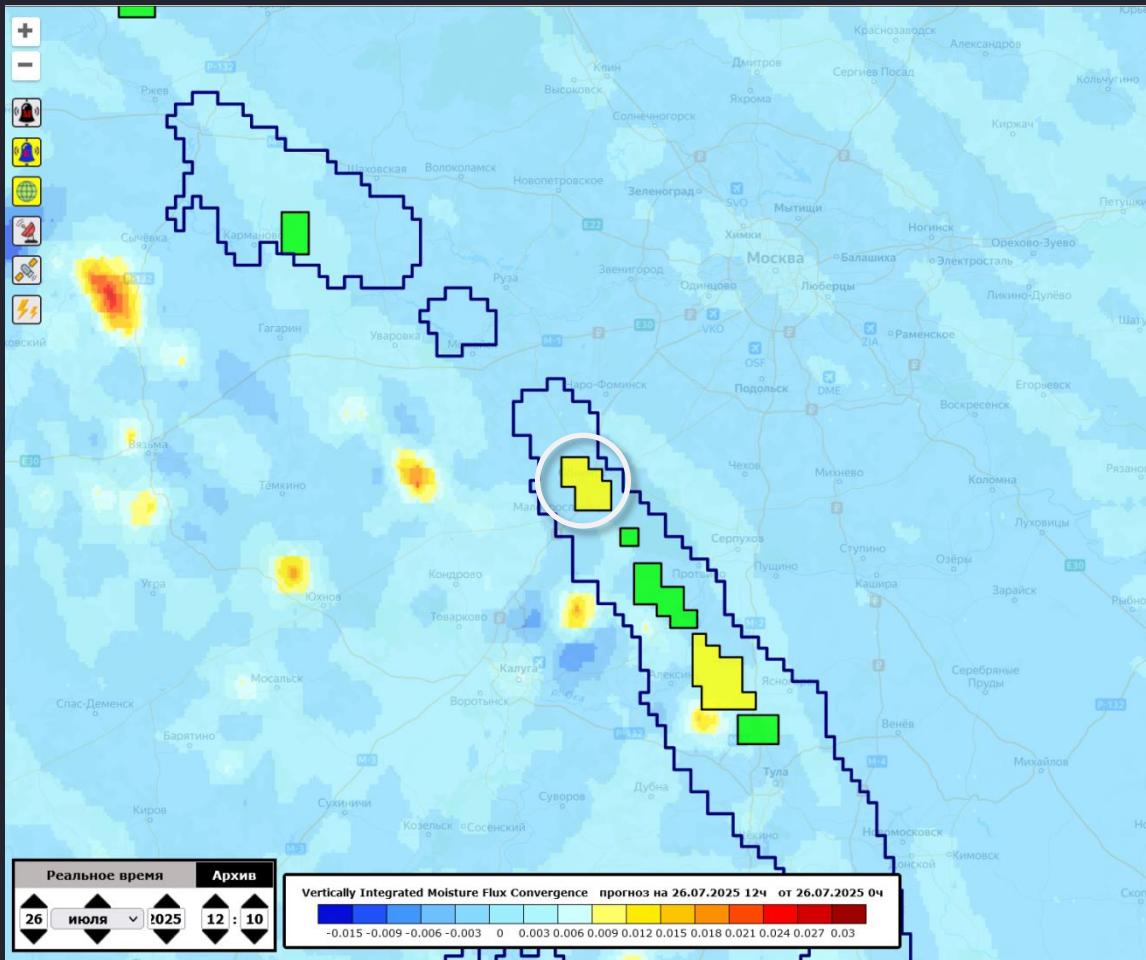
Dew point

RH 700 hPa

Max dBZ

VIMFC

SSI



## Модельные параметры (WRF)

на 12 UTC

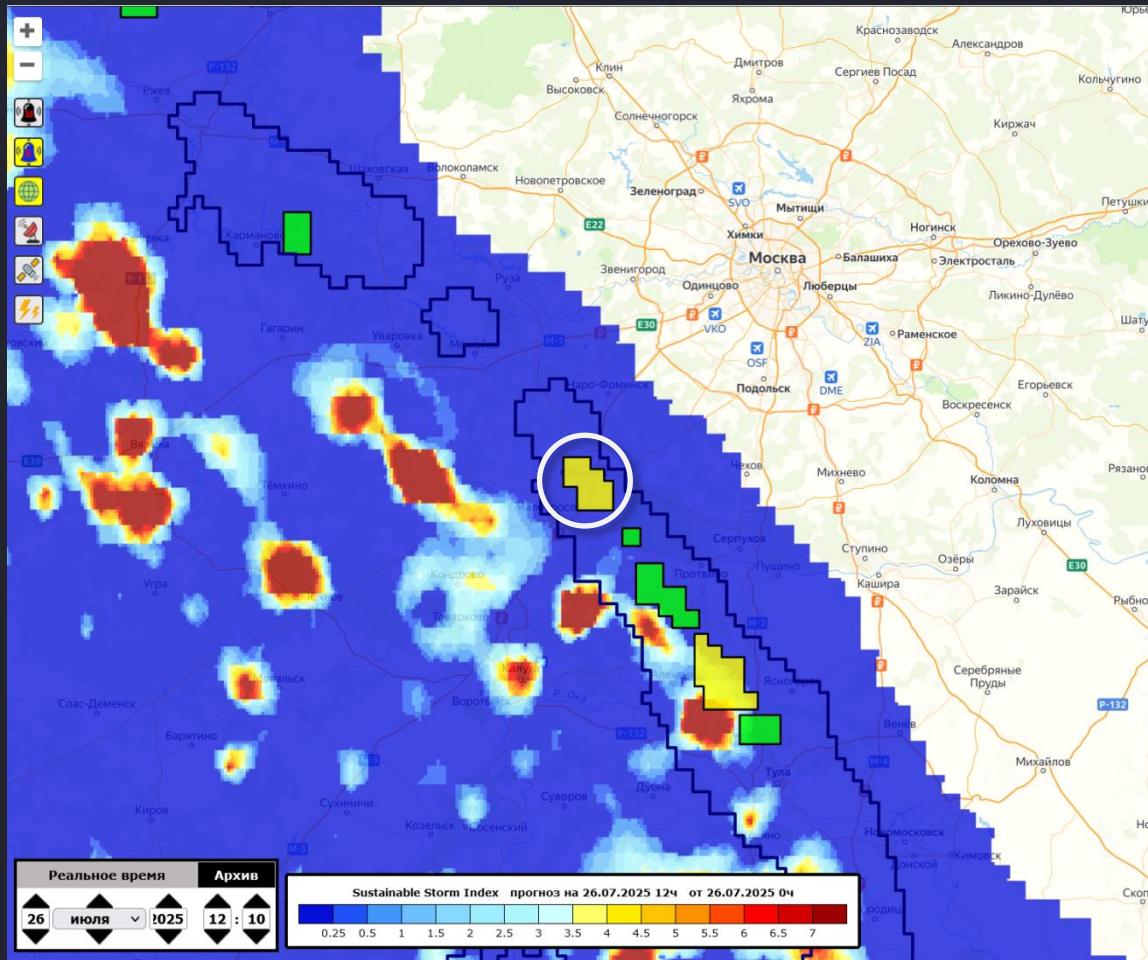
Dew point

RH 700 hPa

Max dBZ

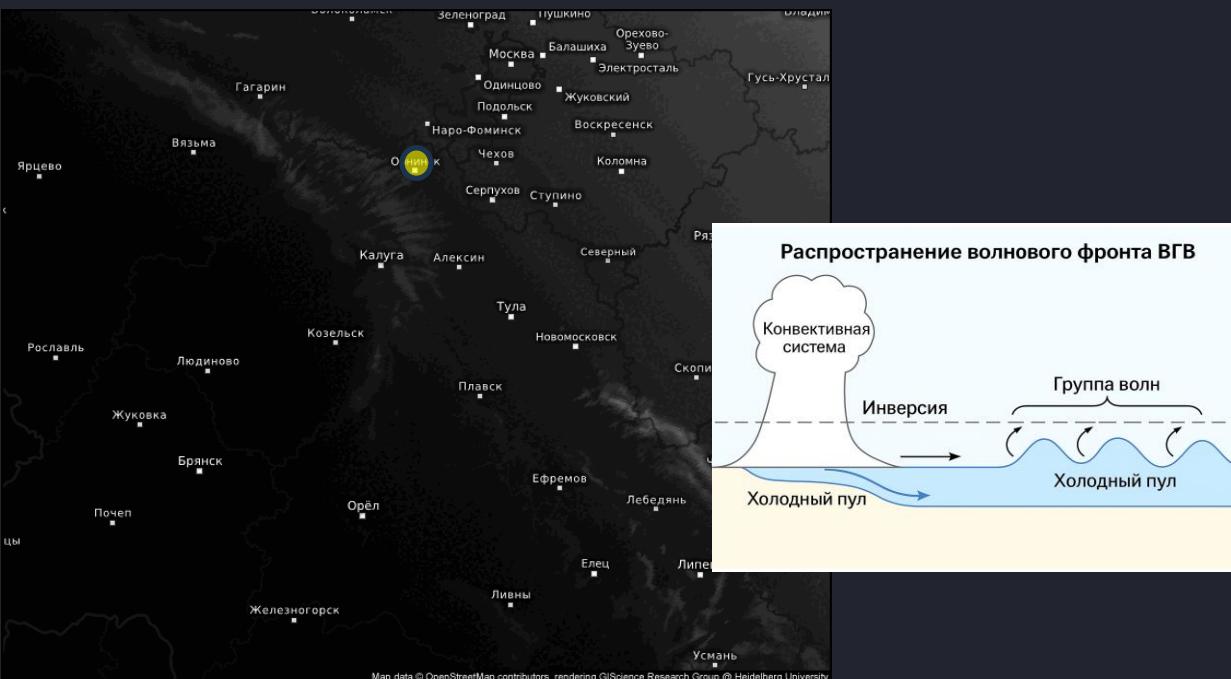
VIMFC

SSI



## События до...

Утром, 06:00 – 06:45 МСК – гравитационные волны: Т, 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

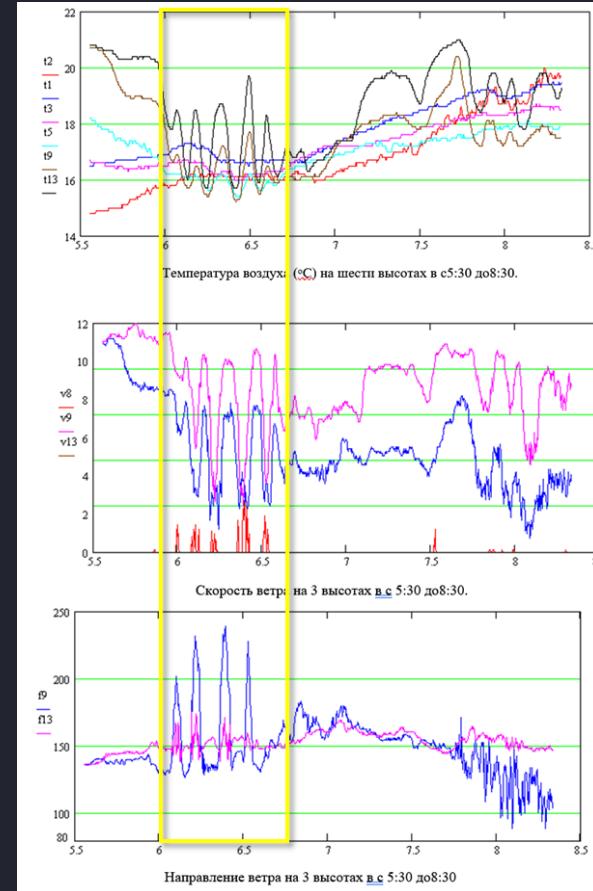
© Kachelmann GmbH - Download for private use only!

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

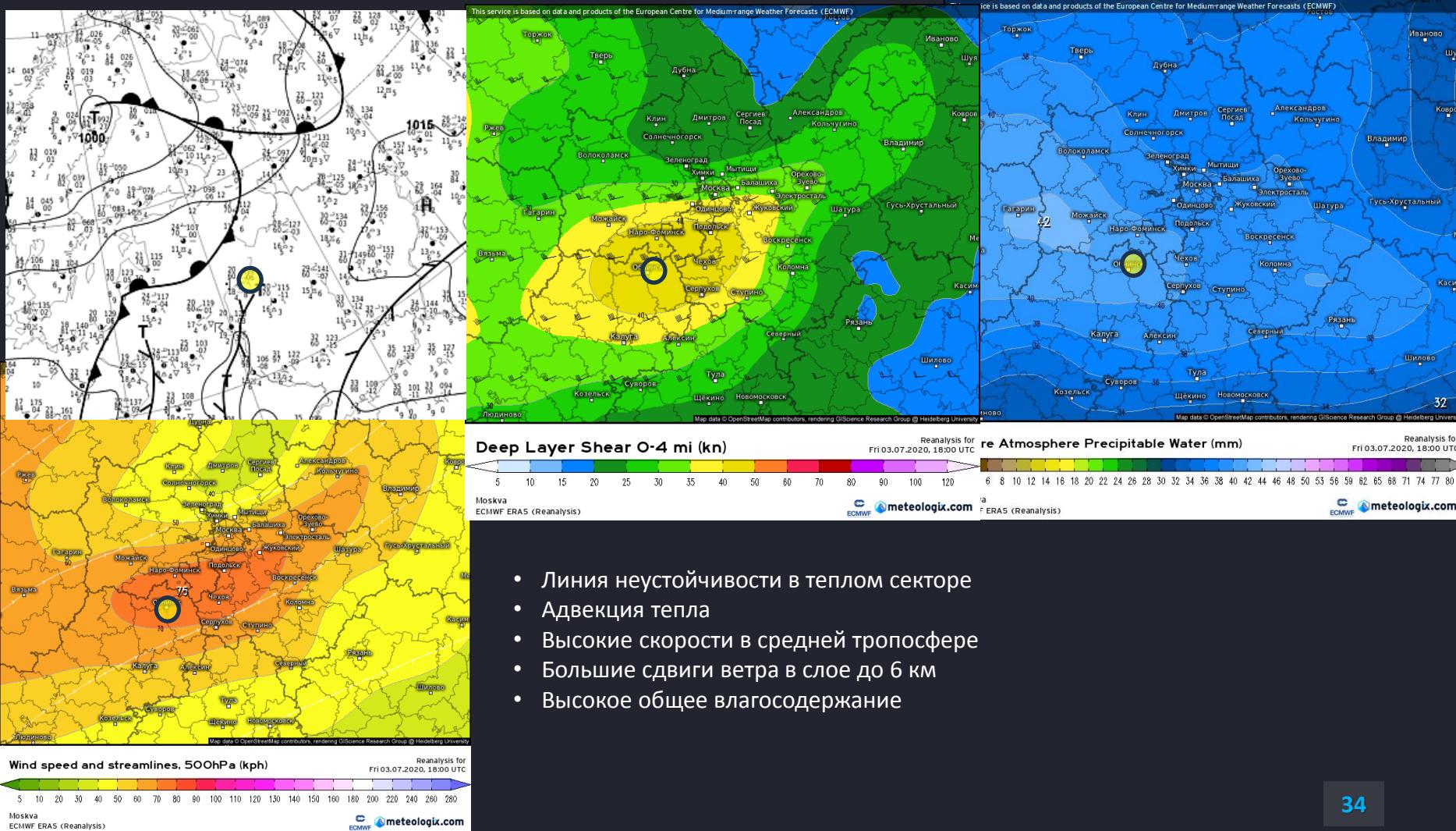
Satellite data: EUMETSAT



**3 июля 2020 г. 15 ч UTC ОЯ: шквал: до 29 м/с (на верхних уровнях ВММ)**

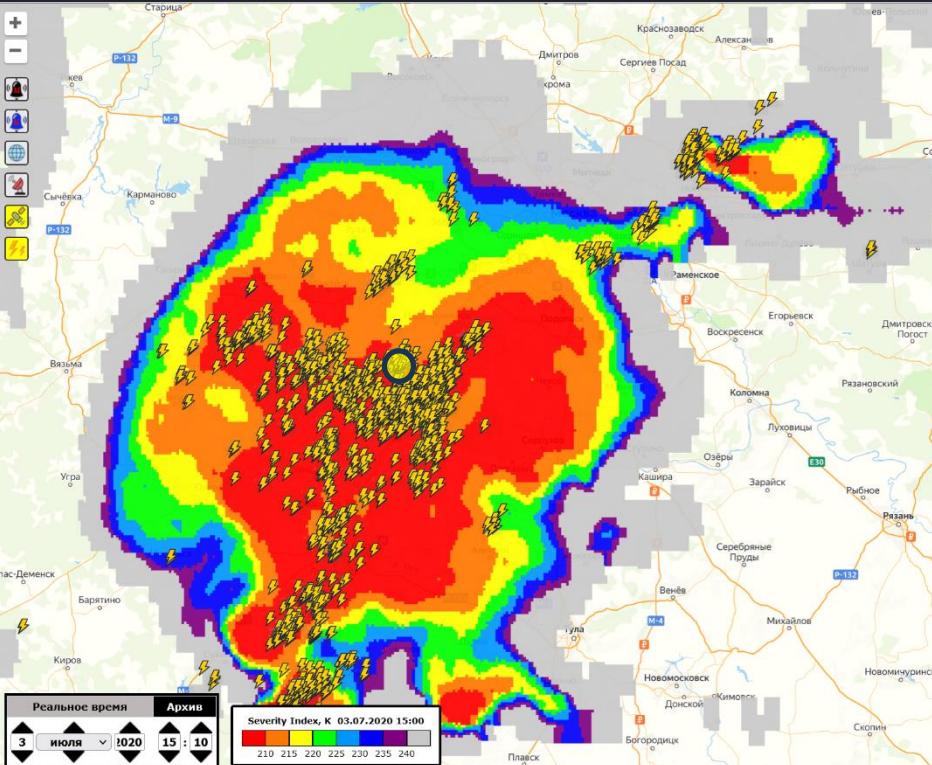
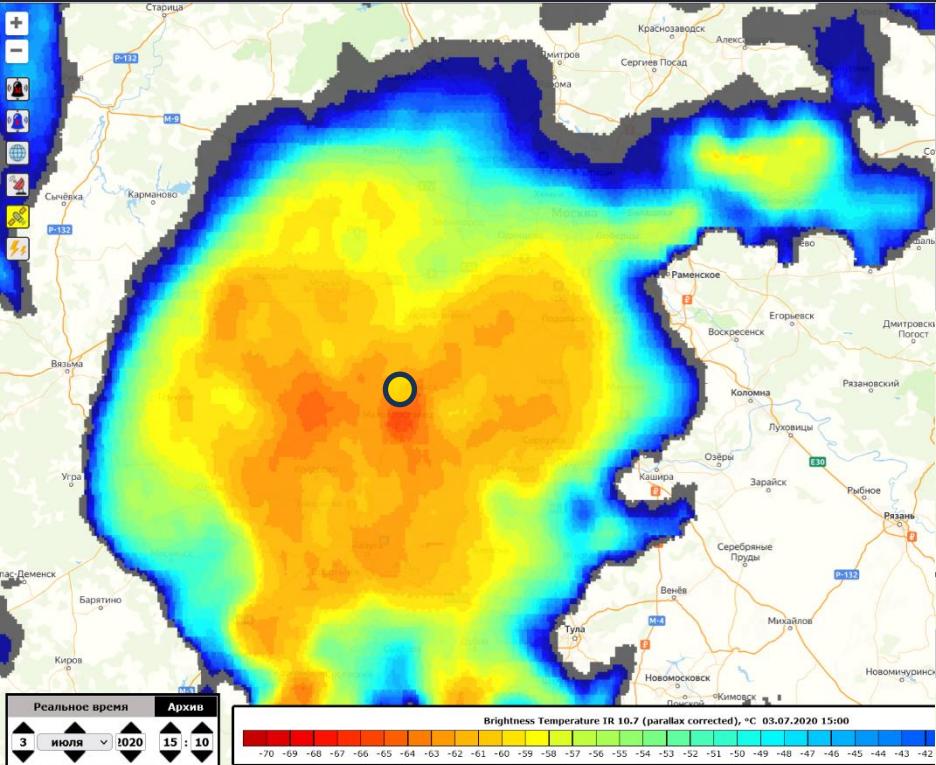
**Ураган разметал по улице в  
Обнинске утеплитель с  
новостройки**



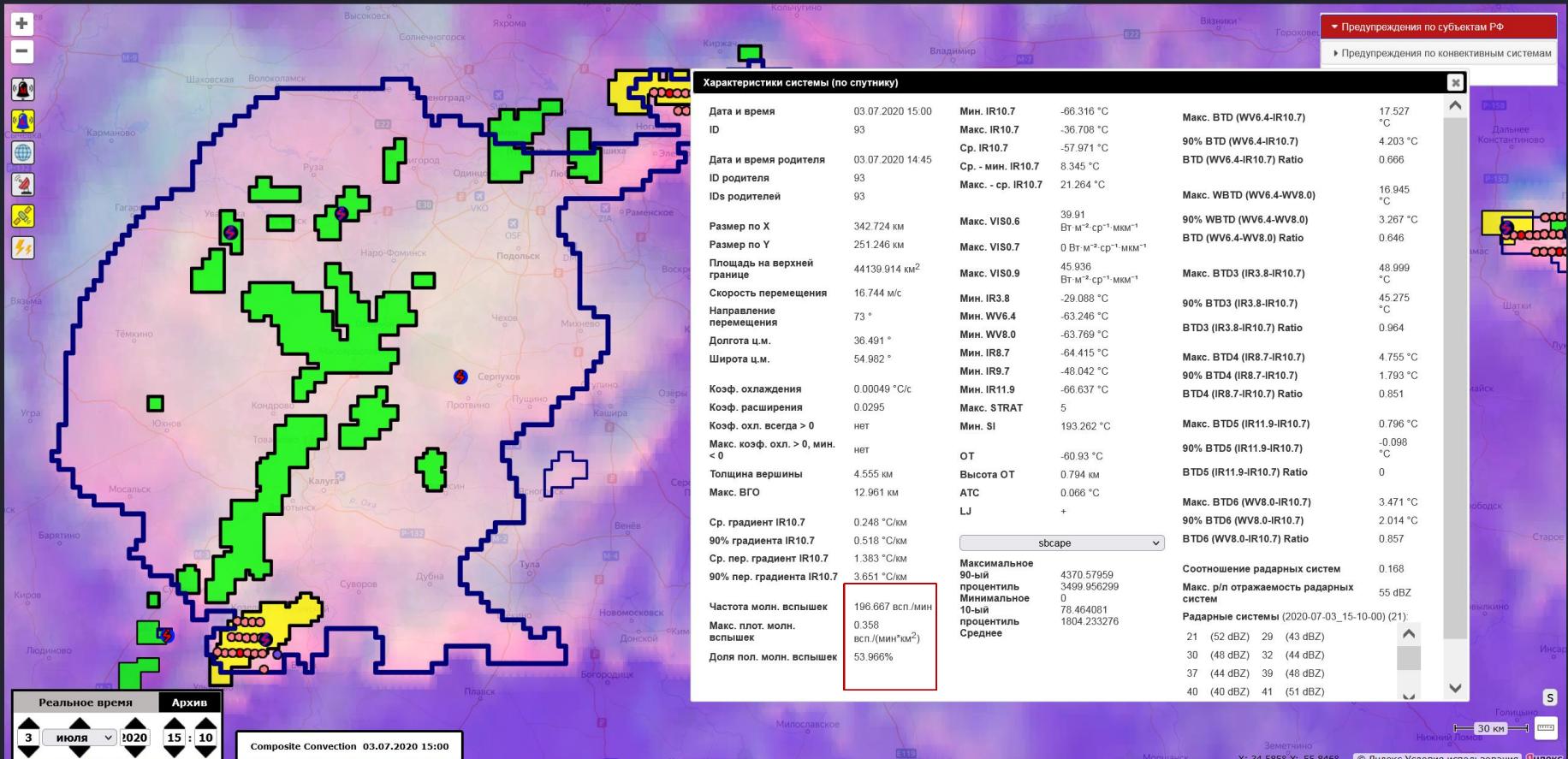


- Линия неустойчивости в теплом секторе
- Адвекция тепла
- Высокие скорости в средней тропосфере
- Большие сдвиги ветра в слое до 6 км
- Высокое общее влагосодержание

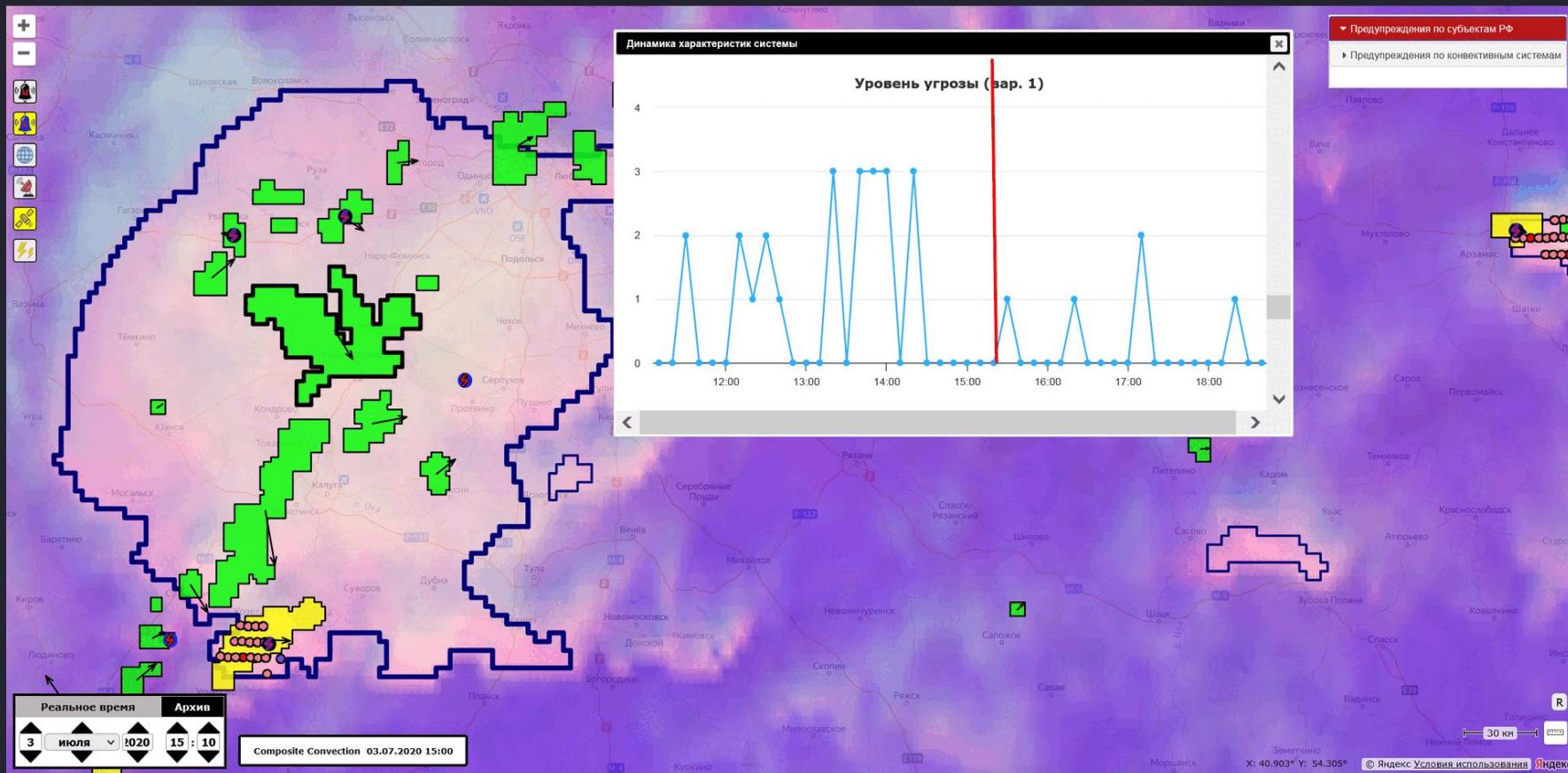
## Выраженный МКК с высокой молниевой активностью



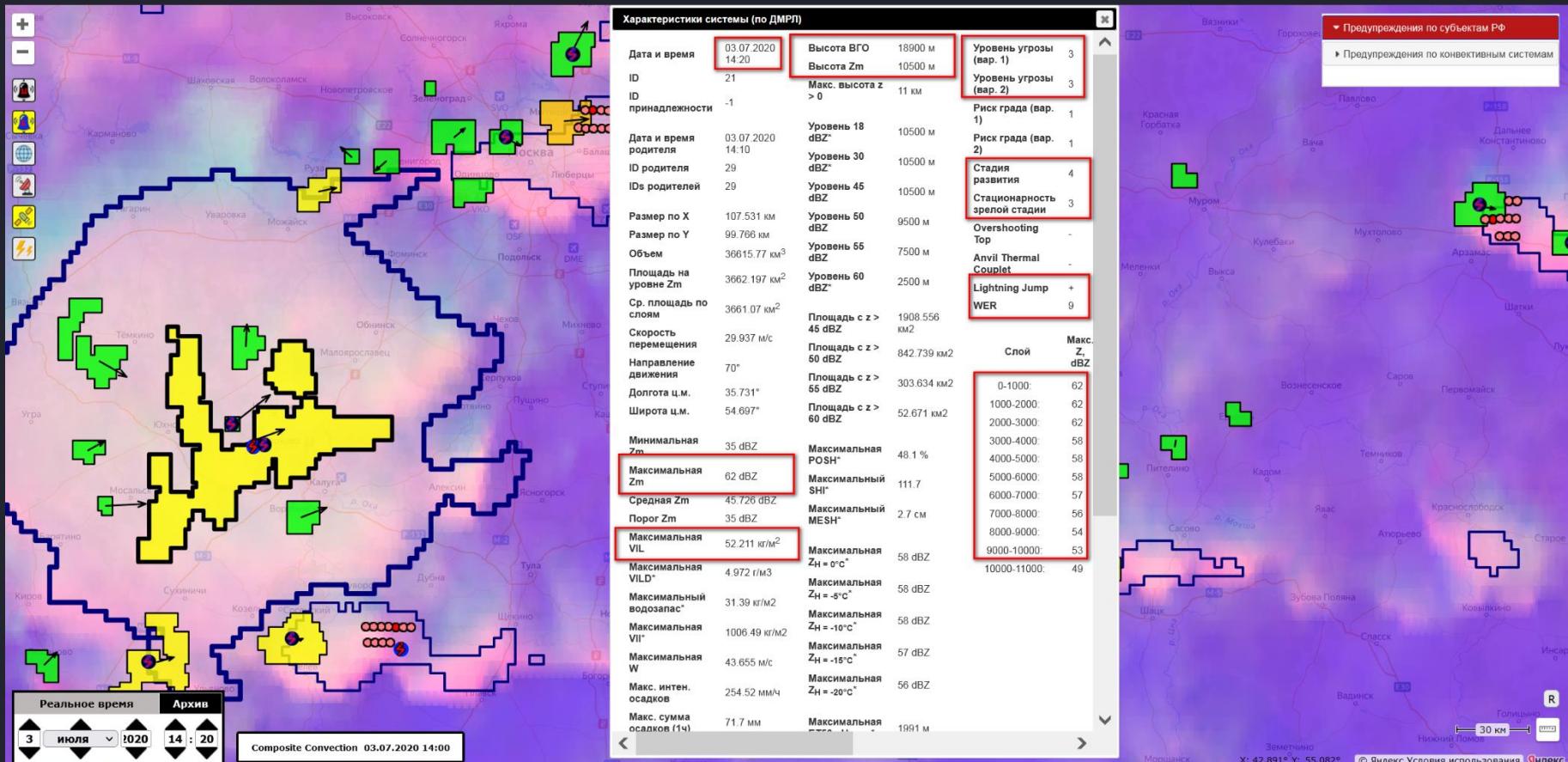
# Спутниковые параметры + параметры молниевой активности



## Временной ход сигнатур и критериев угрозы

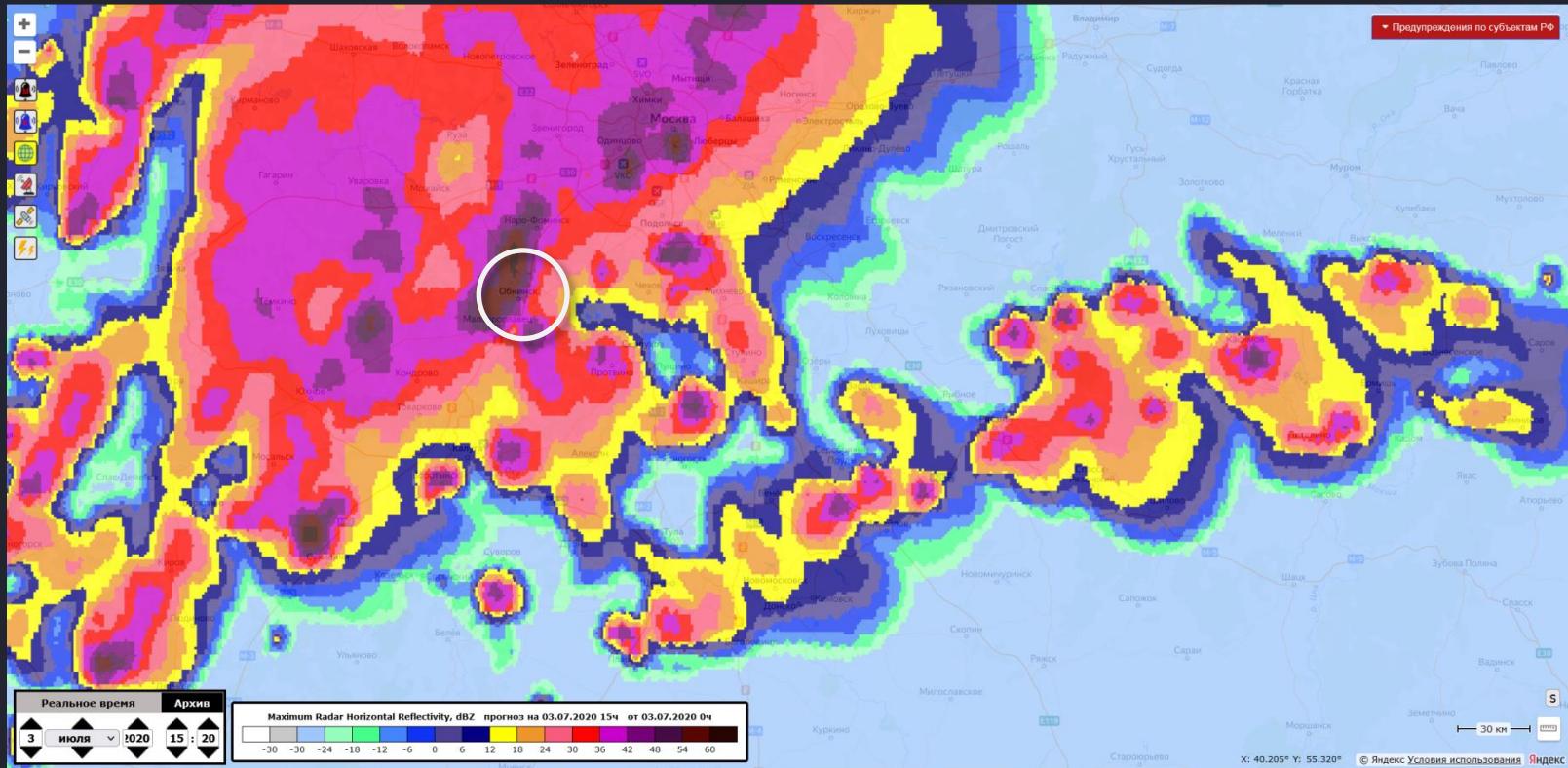


# Радарные параметры системы за 1 час до шквала



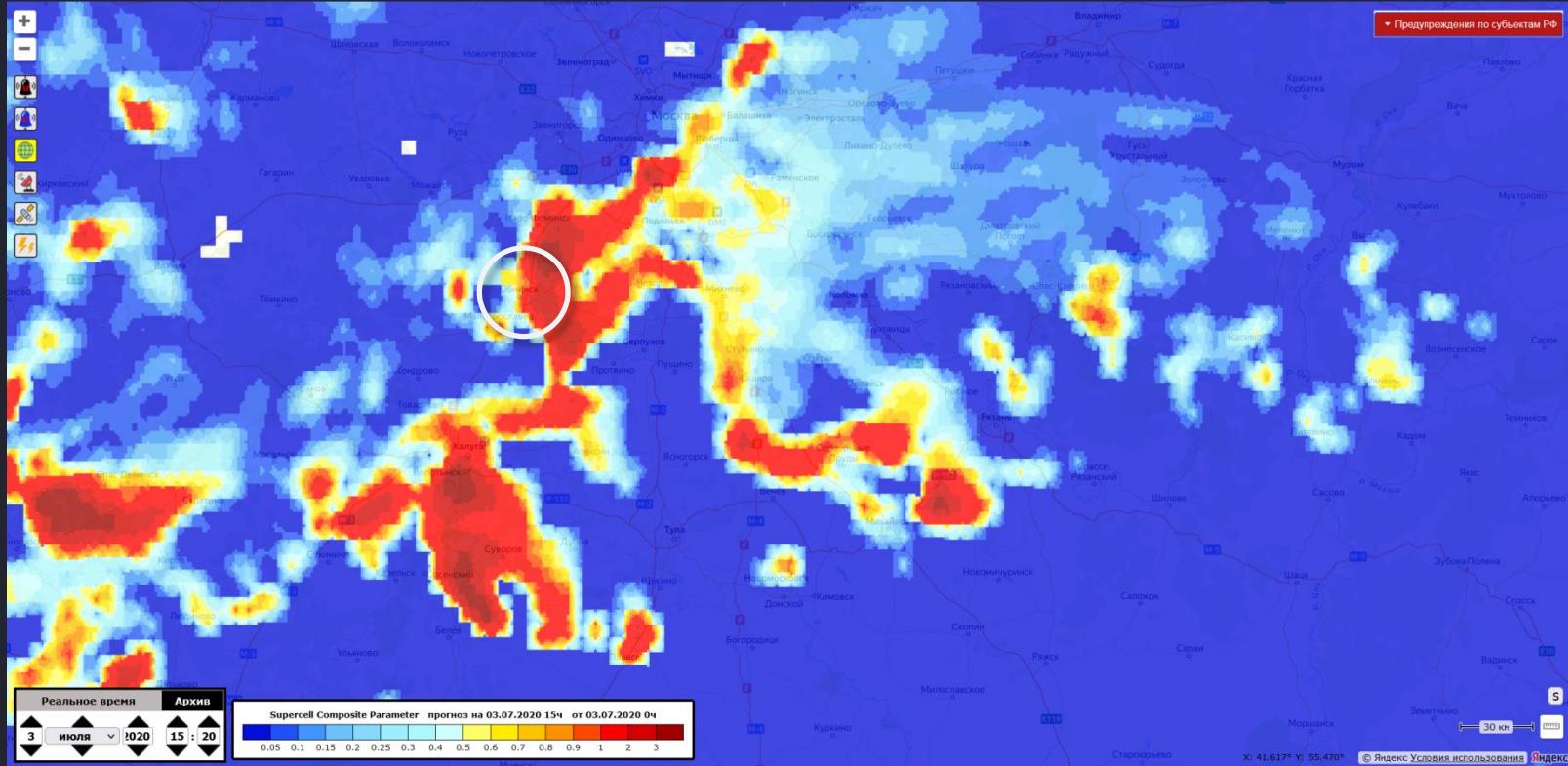
Модельные параметры  
(WRF) на 15 UTC

Max dBZ  
SCP  
0-3 shear  
UH  
SSI  
WDP  
LPI



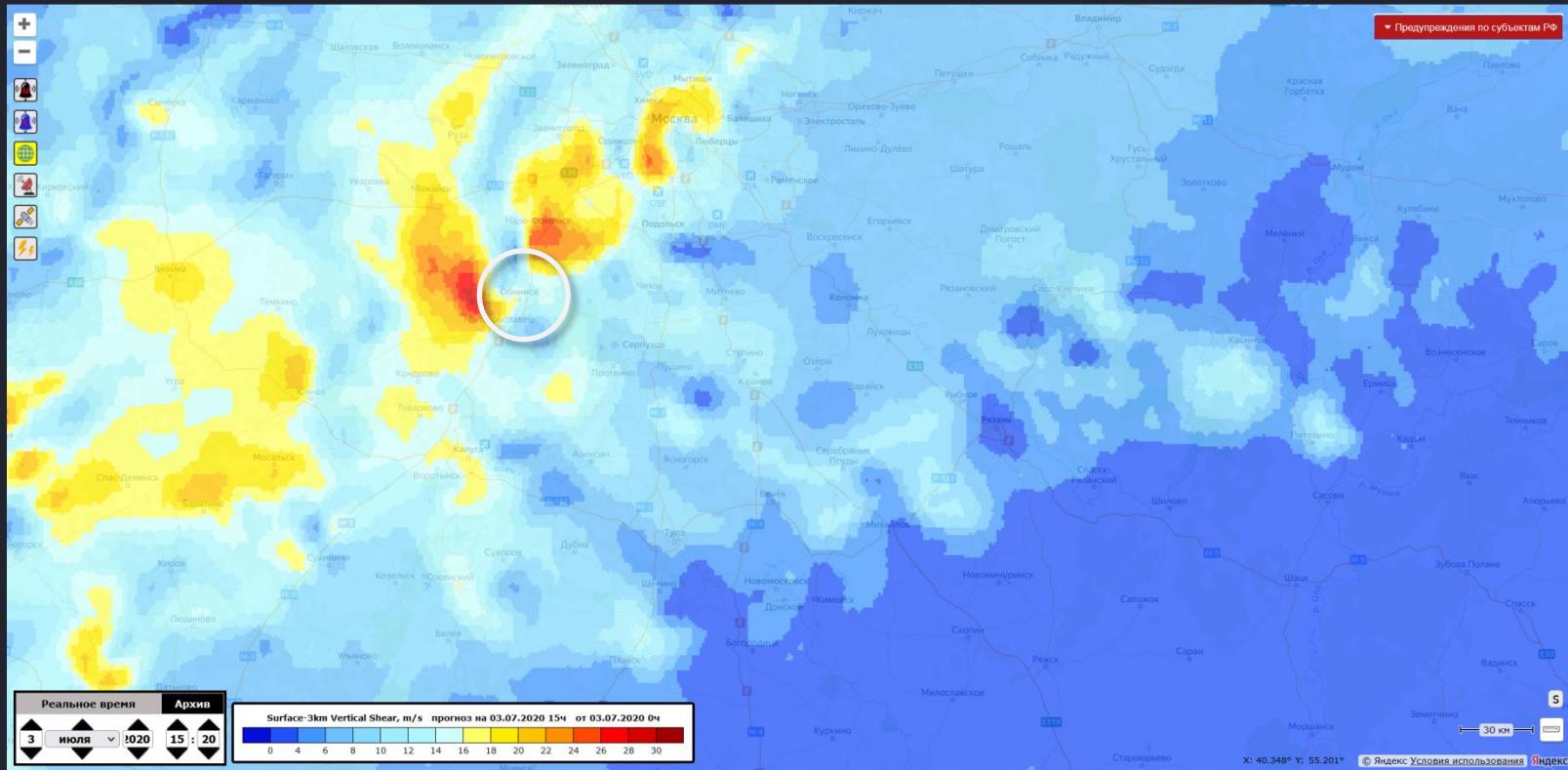
## Модельные параметры (WRF) на 15 UTC

Max dBZ  
SCP  
0-3 shear  
UH  
SSI  
WDP  
LPI



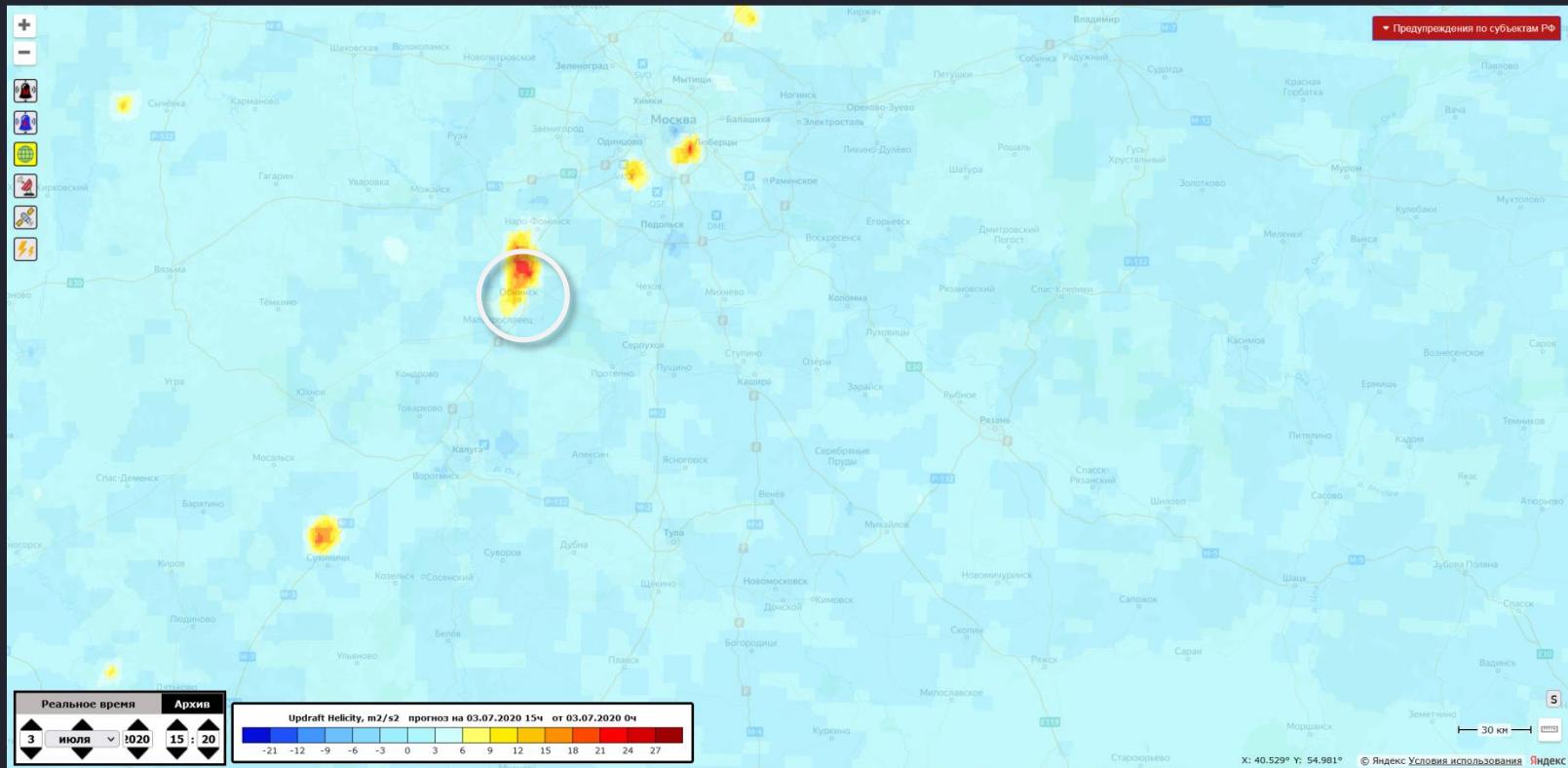
## Модельные параметры (WRF) на 15 UTC

Max dBZ  
SCP  
0-3 shear  
UH  
SSI  
WDP  
LPI



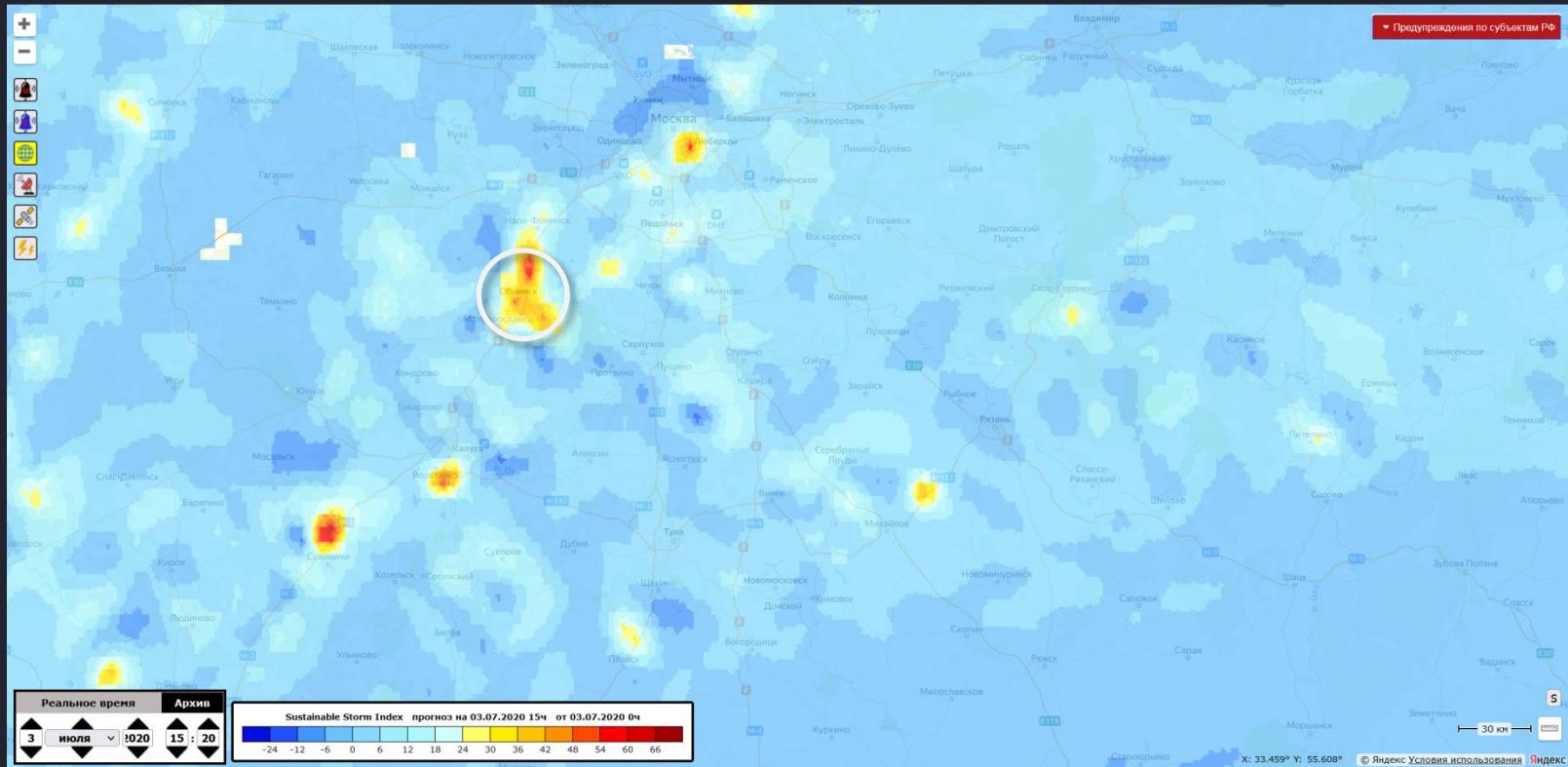
# Модельные параметры (WRF) на 15 UTC

Max dBZ  
SCP  
0-3 shear  
UH  
SSI  
WDP  
LPI



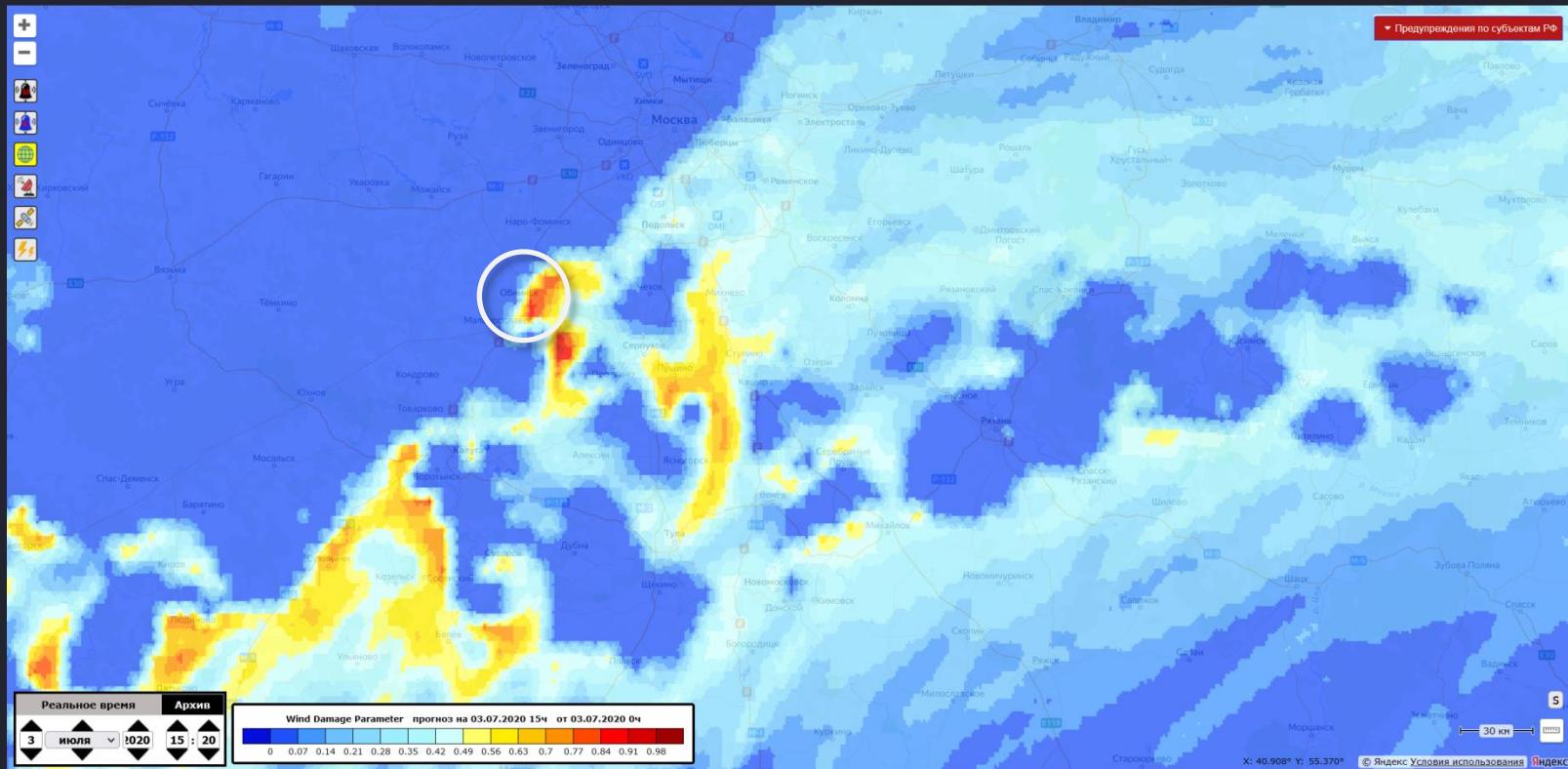
## Модельные параметры (WRF) на 15 UTC

Max dBZ  
SCP  
0-3 shear  
UH  
SSI  
WDP  
LPI



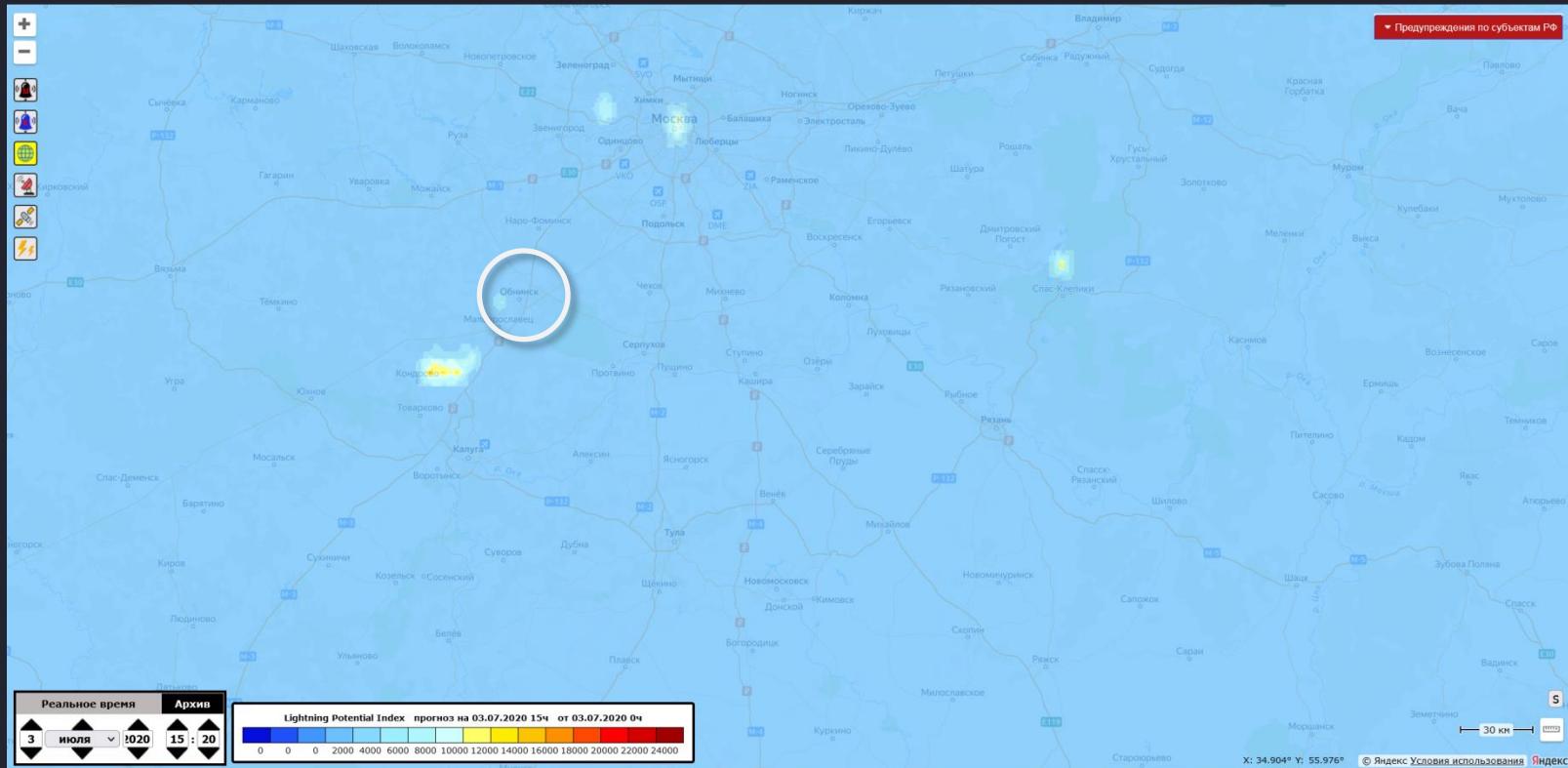
## Модельные параметры (WRF) на 15 UTC

Max dBZ  
SCP  
0-3 shear  
UH  
SSI  
WDP  
LPI

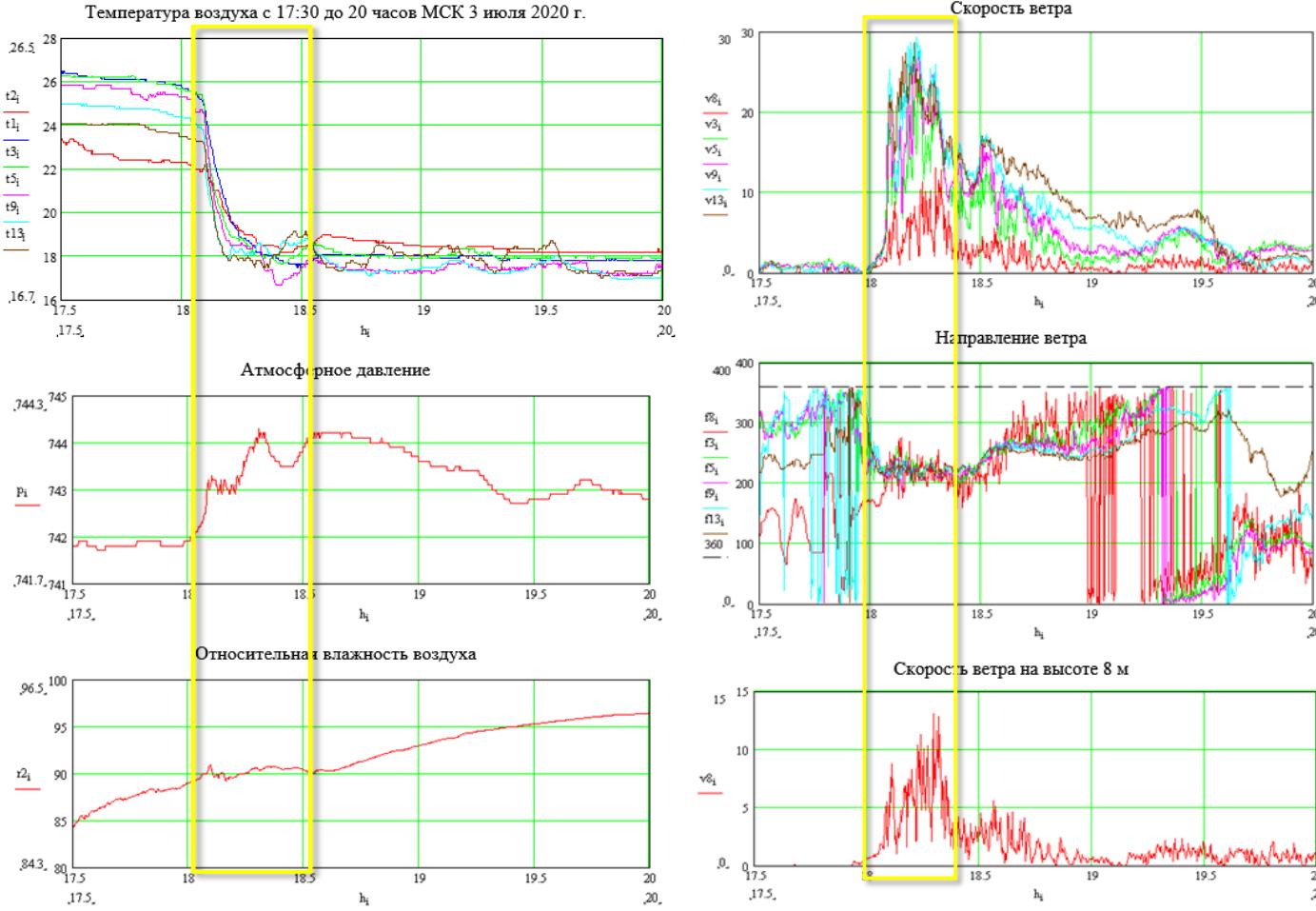


# Модельные параметры (WRF) на 15 UTC

Max dBZ  
SCP  
0-3 shear  
UH  
SSI  
WDP  
LPI



# Данные ВММ



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

**19 августа 2023 г. 19-21 ч UTC: сильная гроза: оч.высокая молн. активность, поражения**

Типичный  
Обнинск



# Шаровая молния разрушила спокойную жизнь обнинских пенсионеров

ПРОИСШЕСТВИЯ / 24 АВГУСТА 2023



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

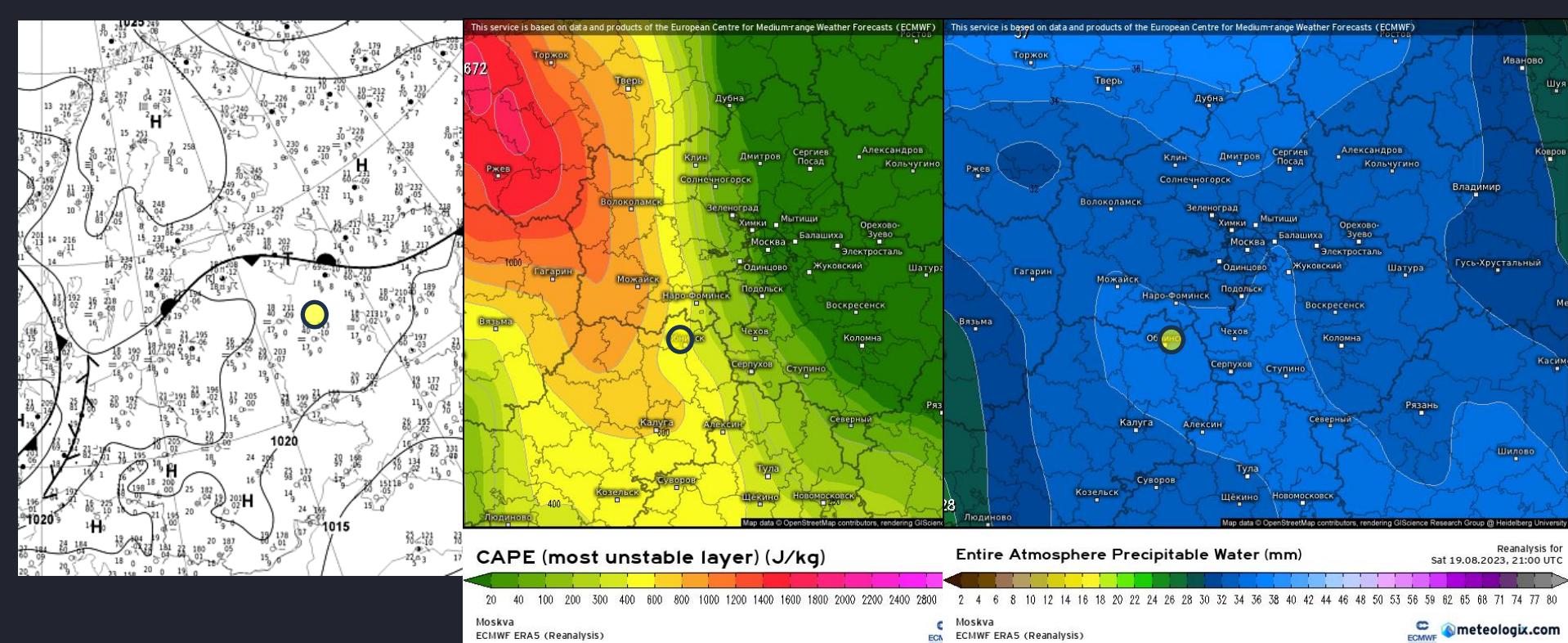
В дом на улице Обнинского, 2, корпус 2, что в Белкино ударила молния, да не простая, а шаровая.

**ПОЖАР ТУШИЛИ 13 ЧАСОВ!**

## Образование ШМ после удара линейной молнии ?

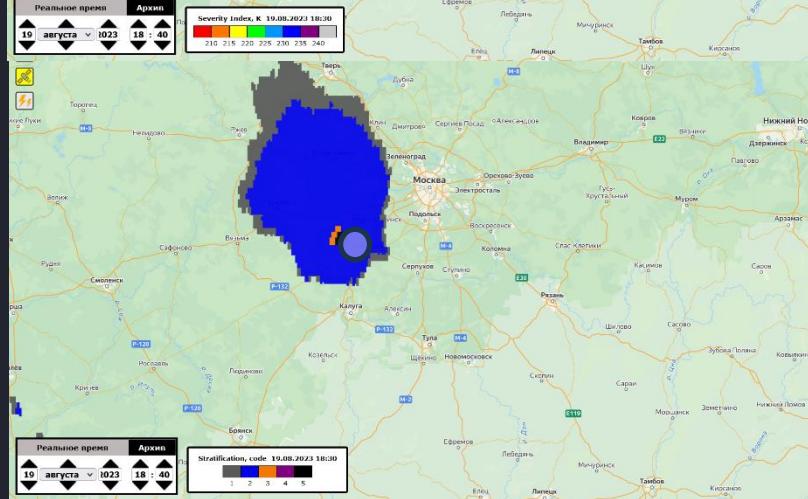
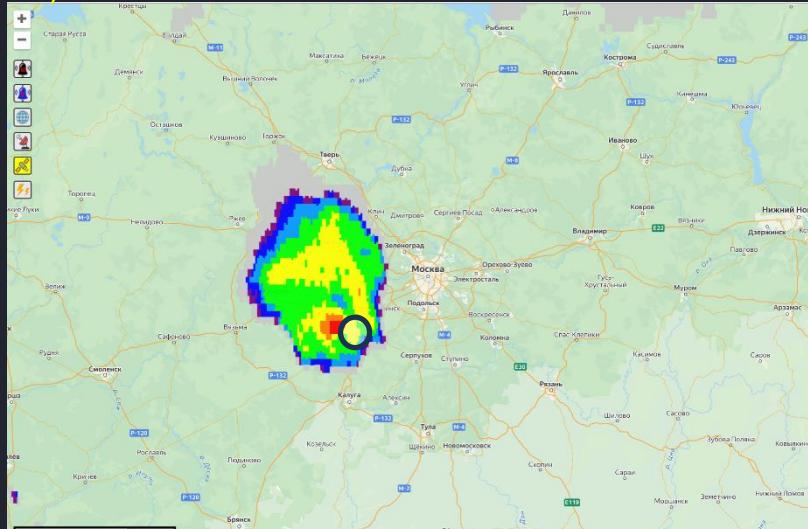
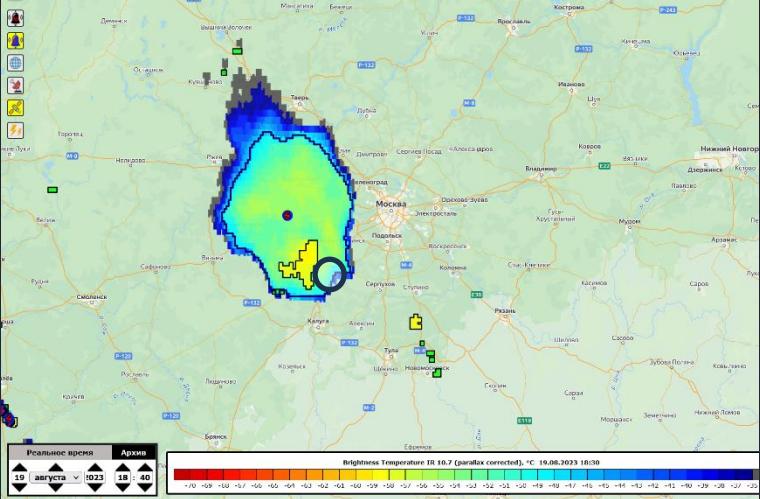
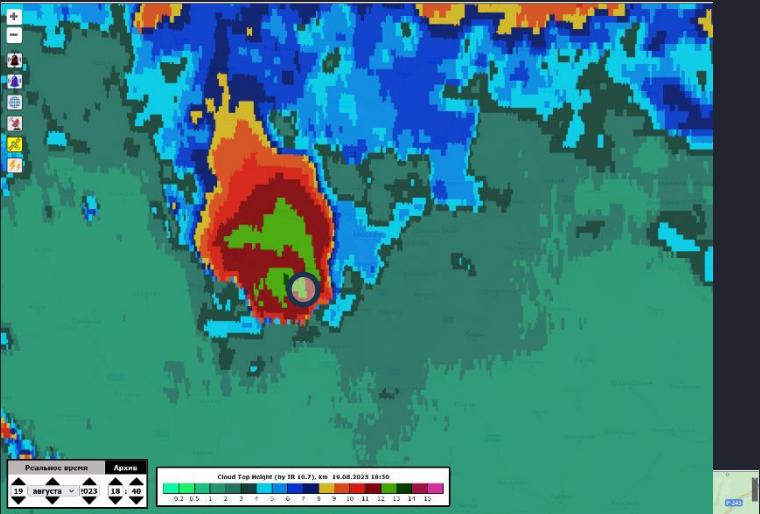


— У нас повылетали сразу все розетки, — рассказывает Андрей, сын хозяев дома супругов Гудковых. — Хлопок был очень сильный и мама увидела, как из розетки выкатился шар. Мы пошли смотреть автоматы, это же частный дом, где что отключилось. Папа вышел на улицу, а там уже люди кричат: «У вас крыша горит».

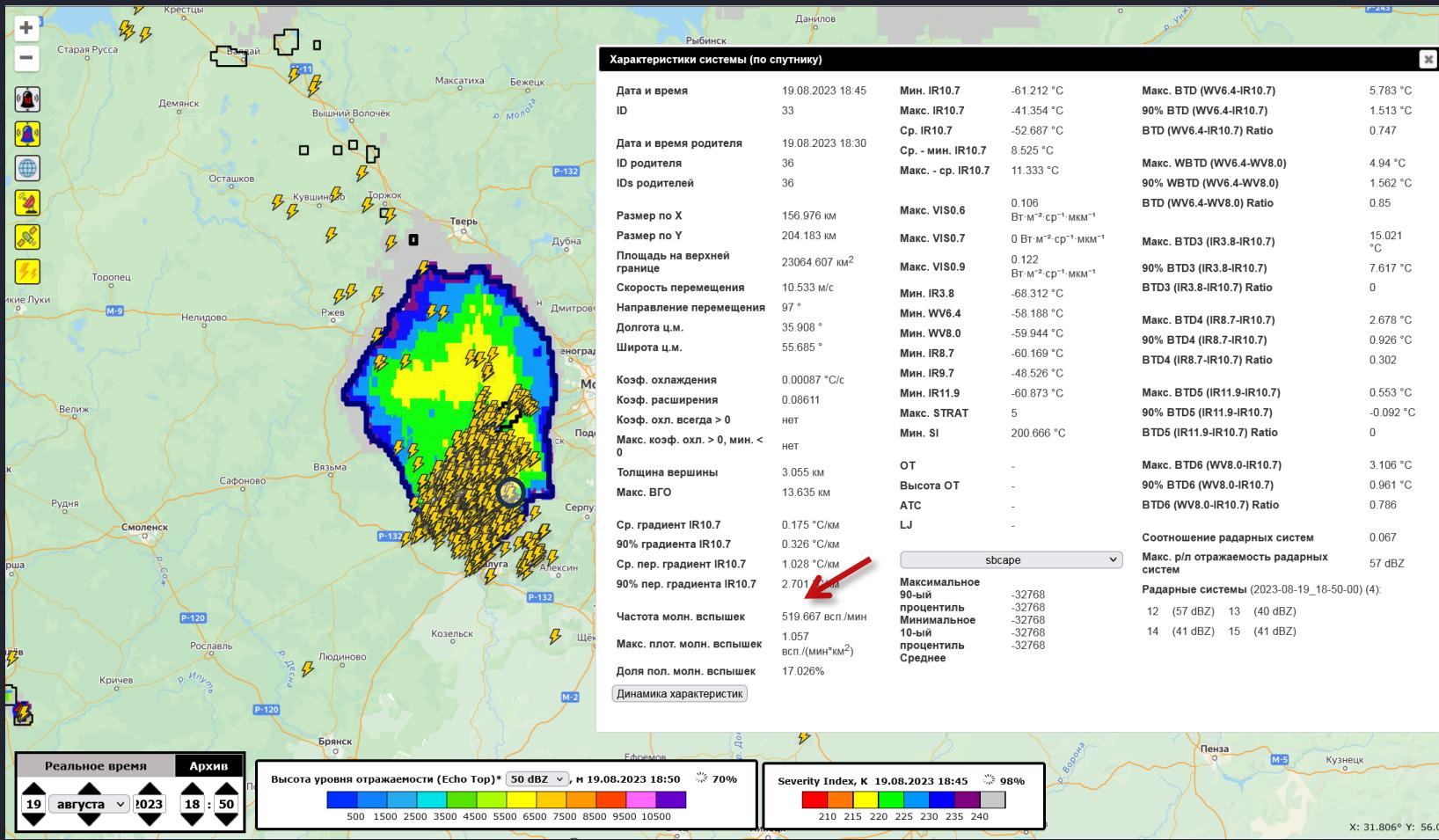


- Внутримассовый процесс в теплой, влажной, неустойчивой ВМ; КСФ – севернее, через Моск. обл.
- Адвекция тепла
- Высокое общее влагосодержание
- Низкие сдвиги ветра и скорости в ср.тропосфере

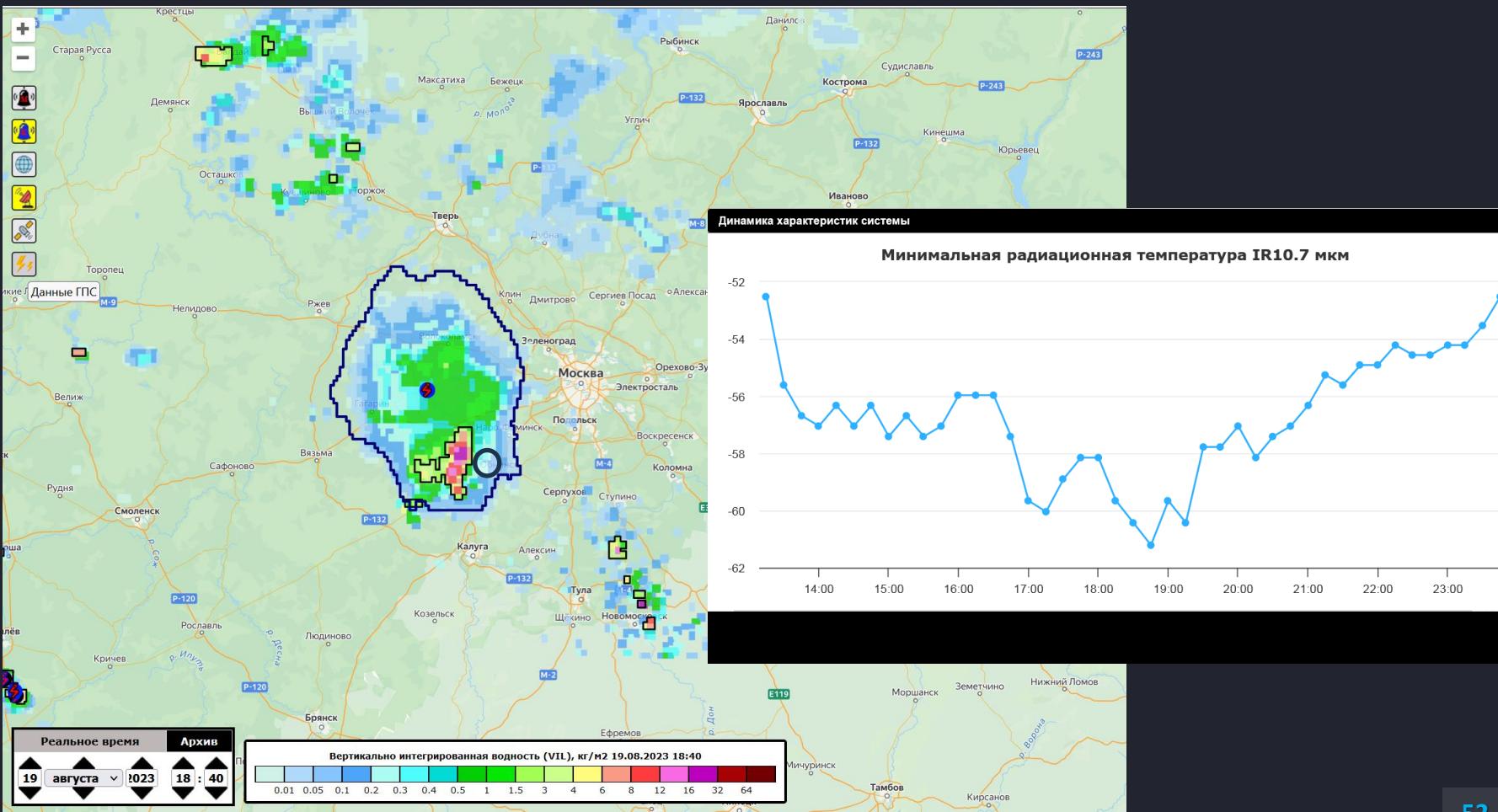
# Спутниковые отображения МКК: СТН, ВТ 10.8, Severity index, Stratification



# Спутниковые параметры + молниевая активность



# Параметры, сигнатуры: временной ход



Модельные параметры  
(WRF) на 22 UTC:

Max dBZ

300-1000 hPa Div. Diff

EHI

LPI

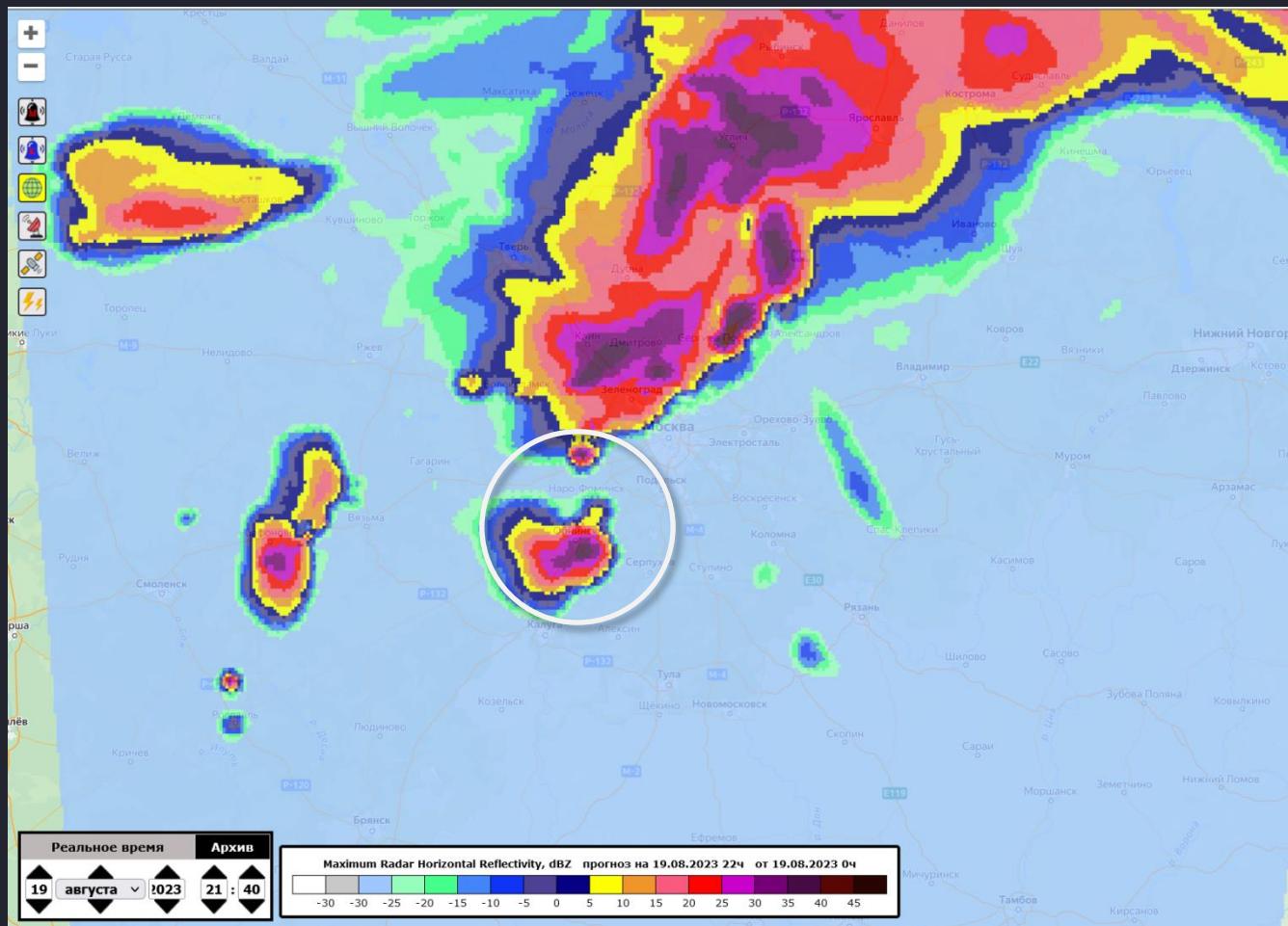
PW

SCP

SCS

SSI

CG Flash count



Модельные параметры  
(WRF) на 22 UTC:

Max dBZ

300-1000 hPa Div. Diff

EHI

LPI

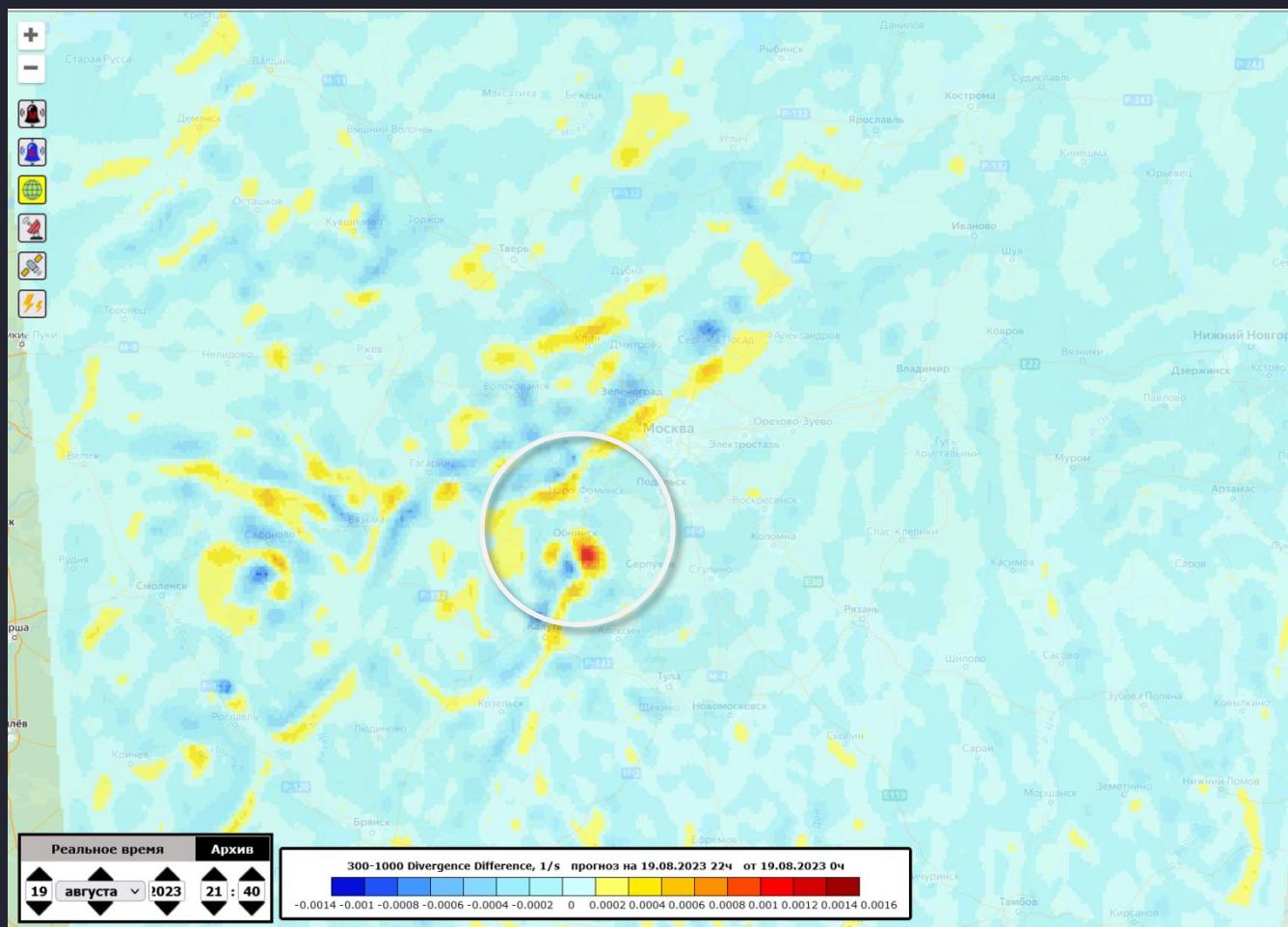
PW

SCP

SCS

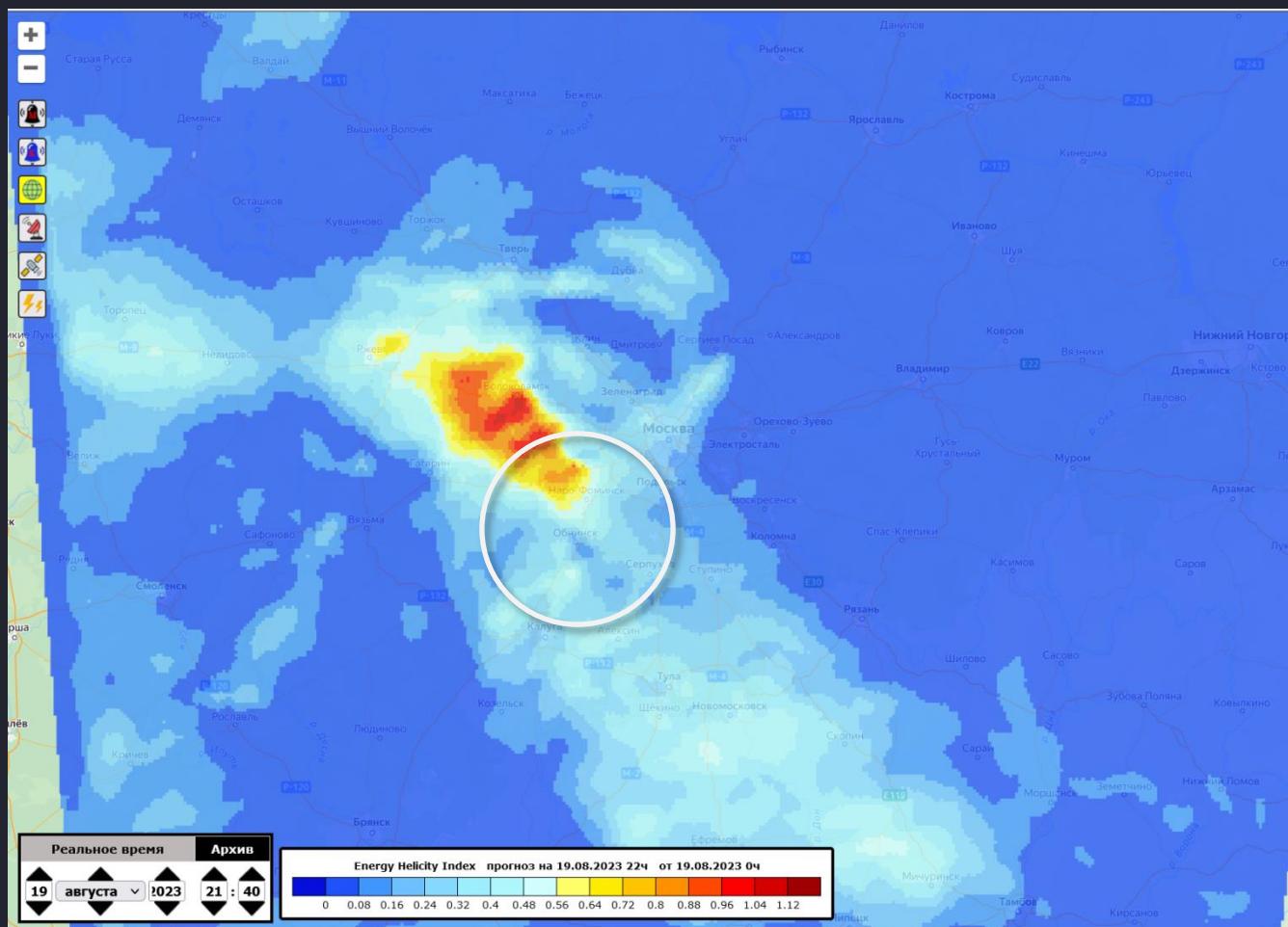
SSI

CG Flash count



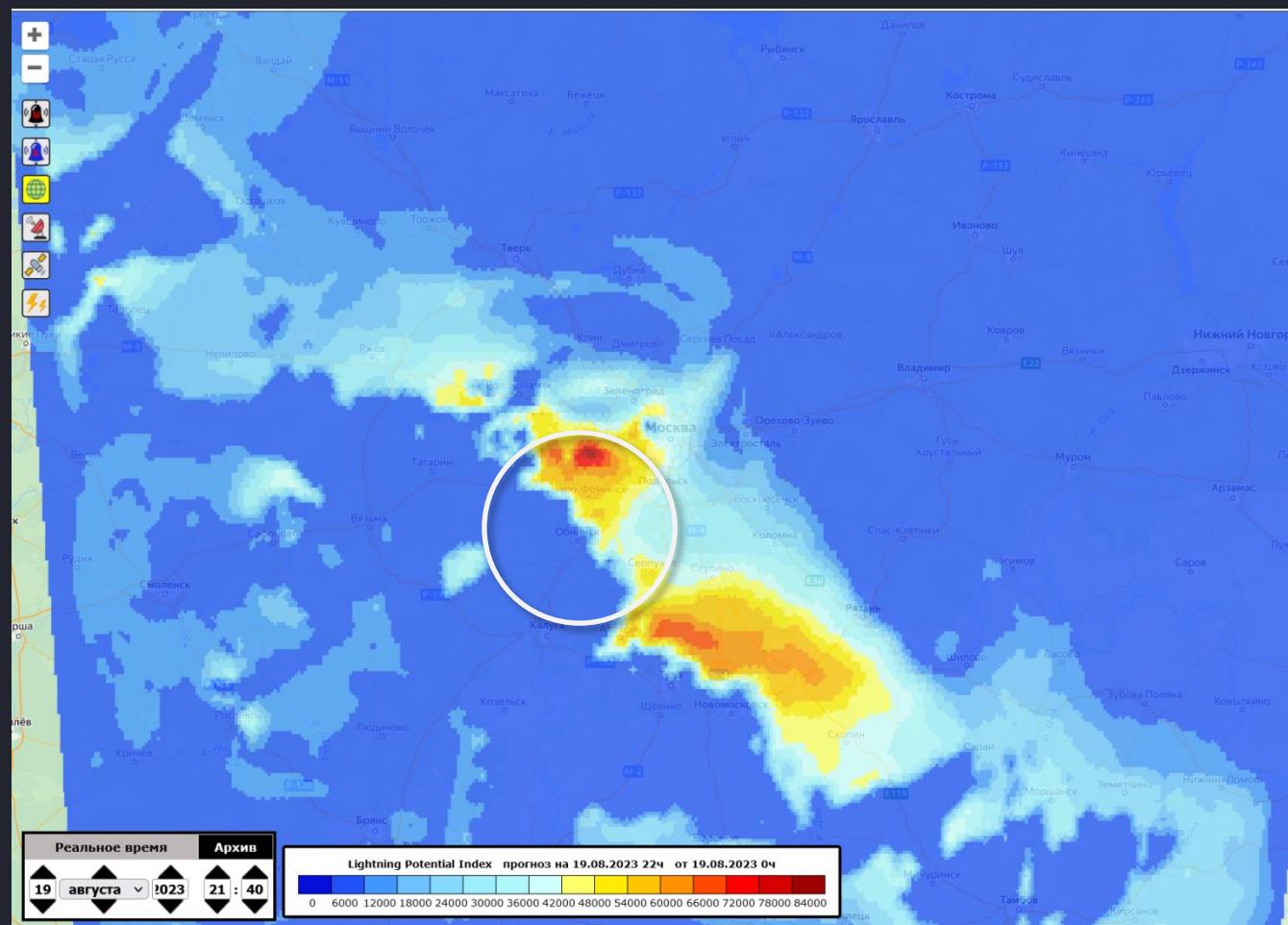
## Модельные параметры (WRF) на 22 UTC:

Max dBZ  
300-1000 hPa Div. Diff  
EHI  
LPI  
PW  
SCP  
SCS  
SSI  
CG Flash count



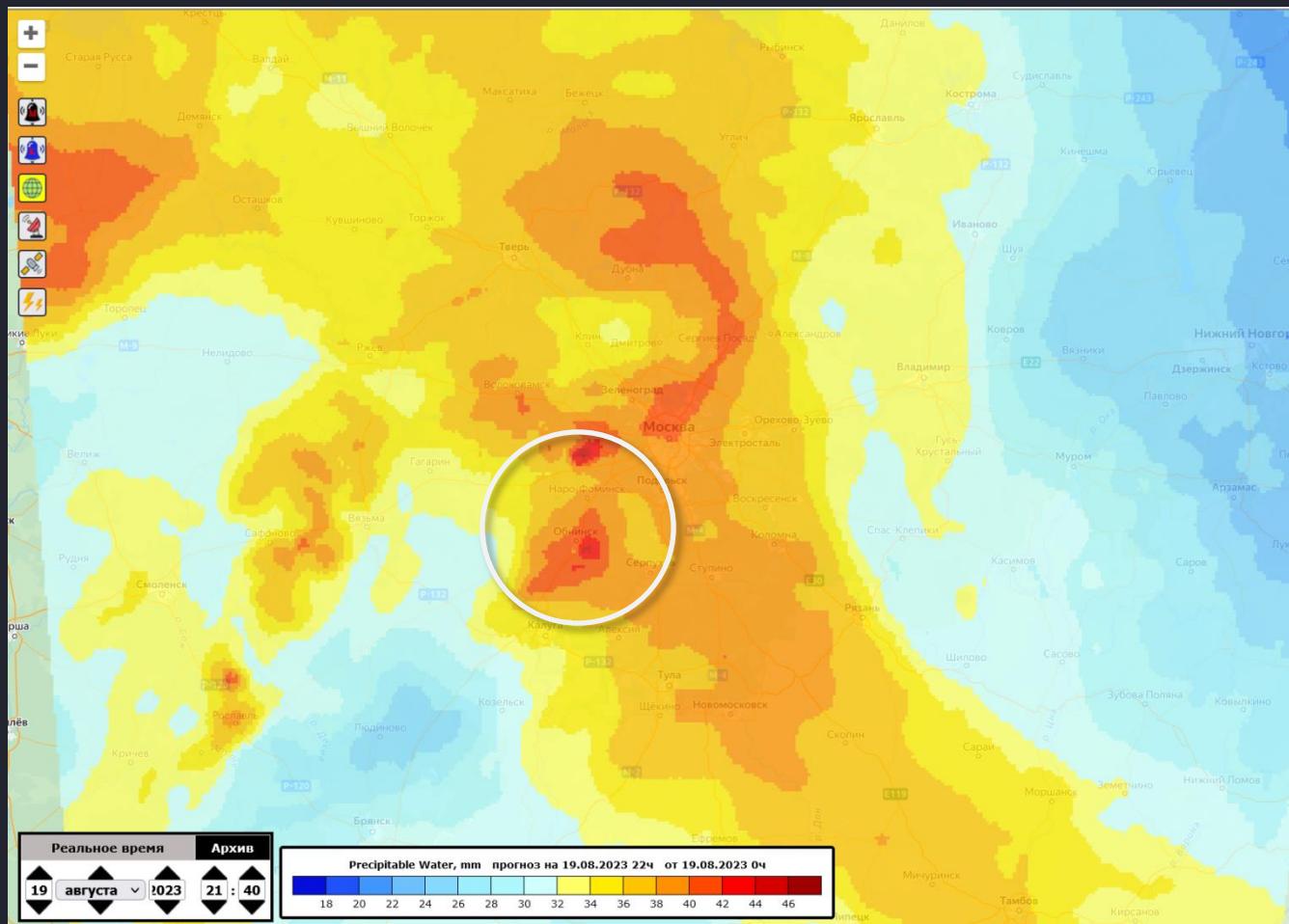
Модельные параметры  
(WRF) на 22 UTC:

Max dBZ  
300-1000 hPa Div. Diff  
EHI  
LPI  
PW  
SCP  
SCS  
SSI  
CG Flash count



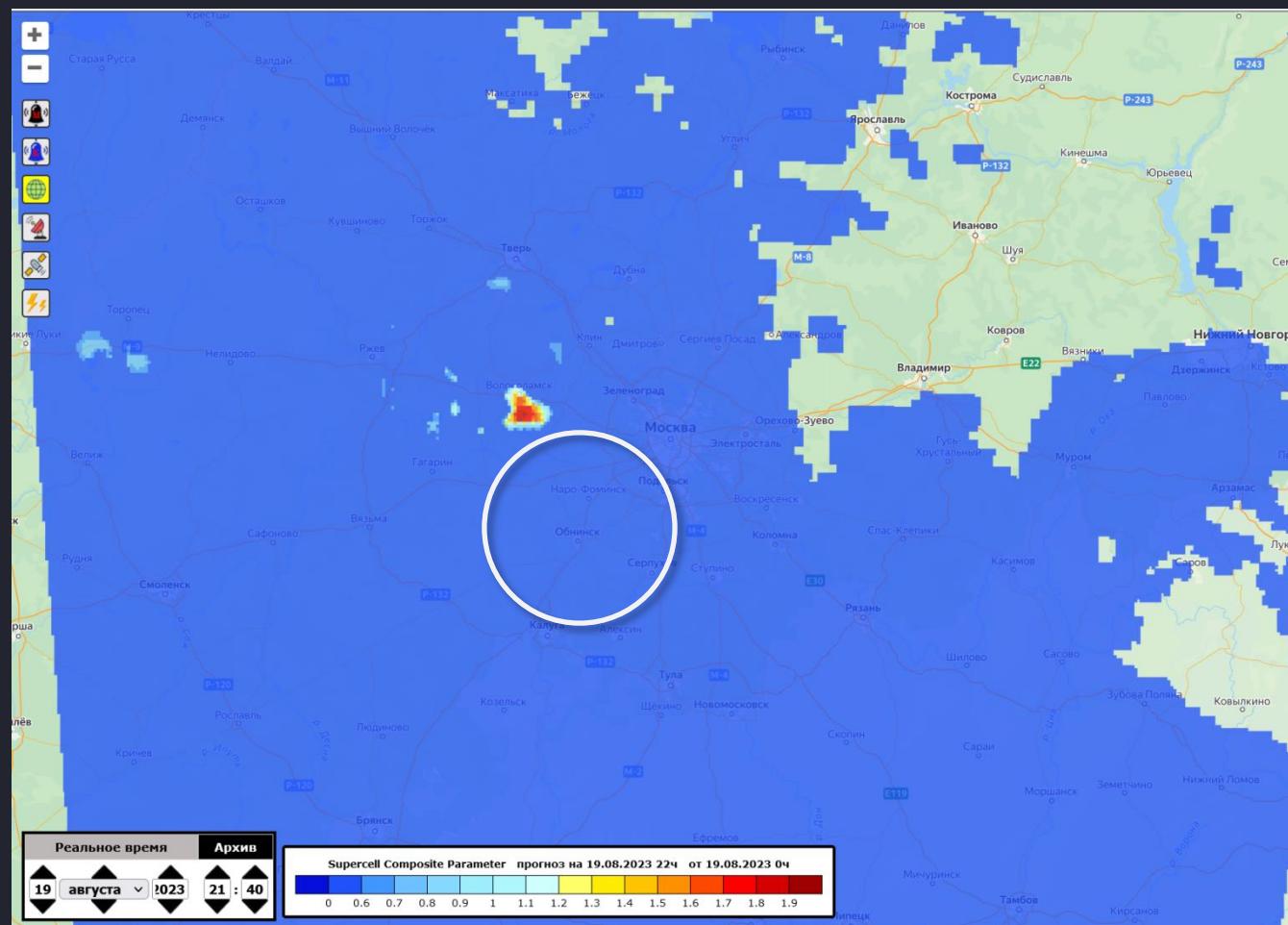
Модельные параметры  
(WRF) на 22 UTC:

Max dBZ  
300-1000 hPa Div. Diff  
EHI  
LPI  
PW  
SCP  
SCS  
SSI  
CG Flash count



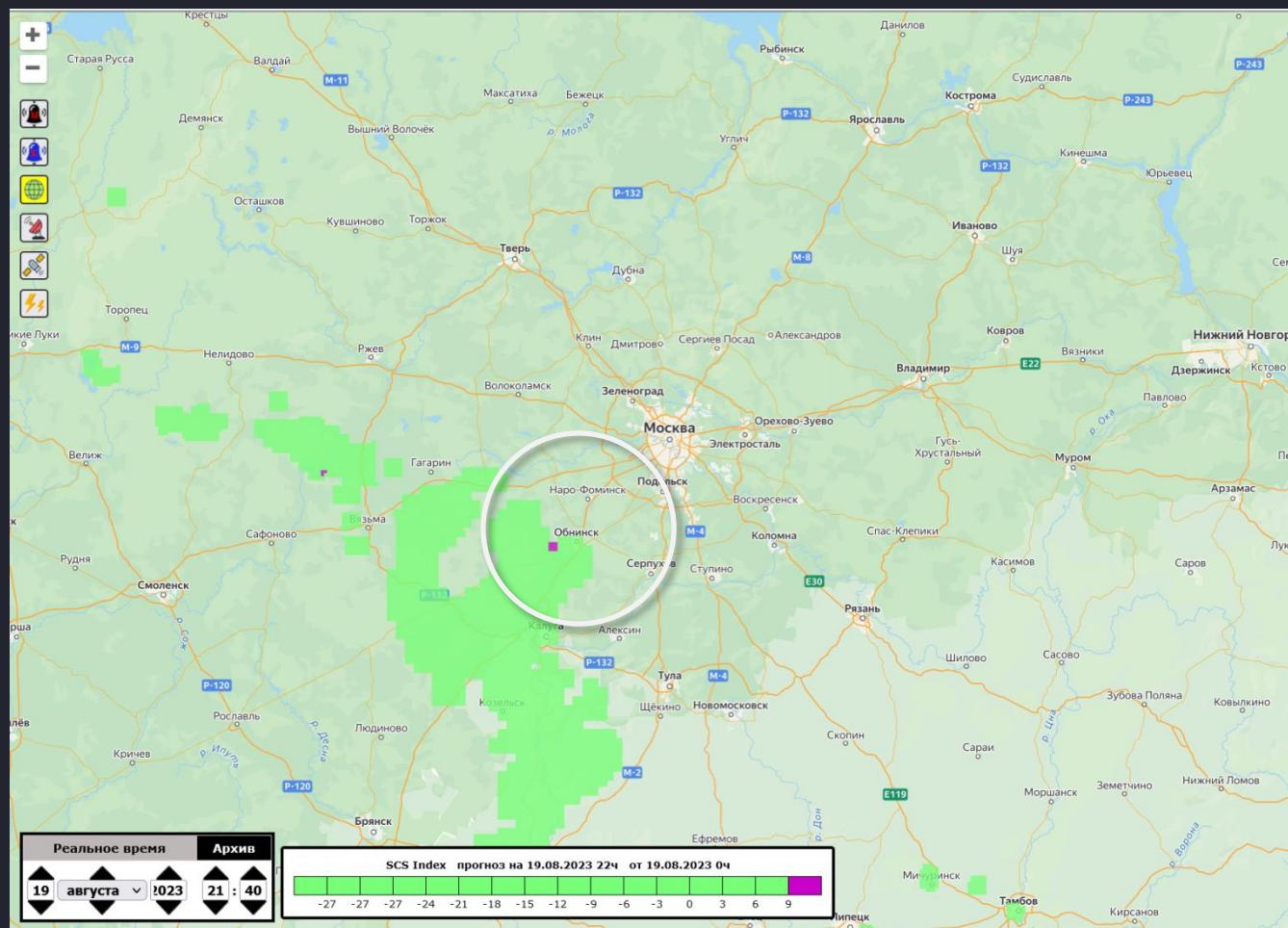
Модельные параметры  
(WRF) на 22 UTC:

Max dBZ  
300-1000 hPa Div. Diff  
EHI  
LPI  
PW  
SCP  
SCS  
SSI  
CG Flash count



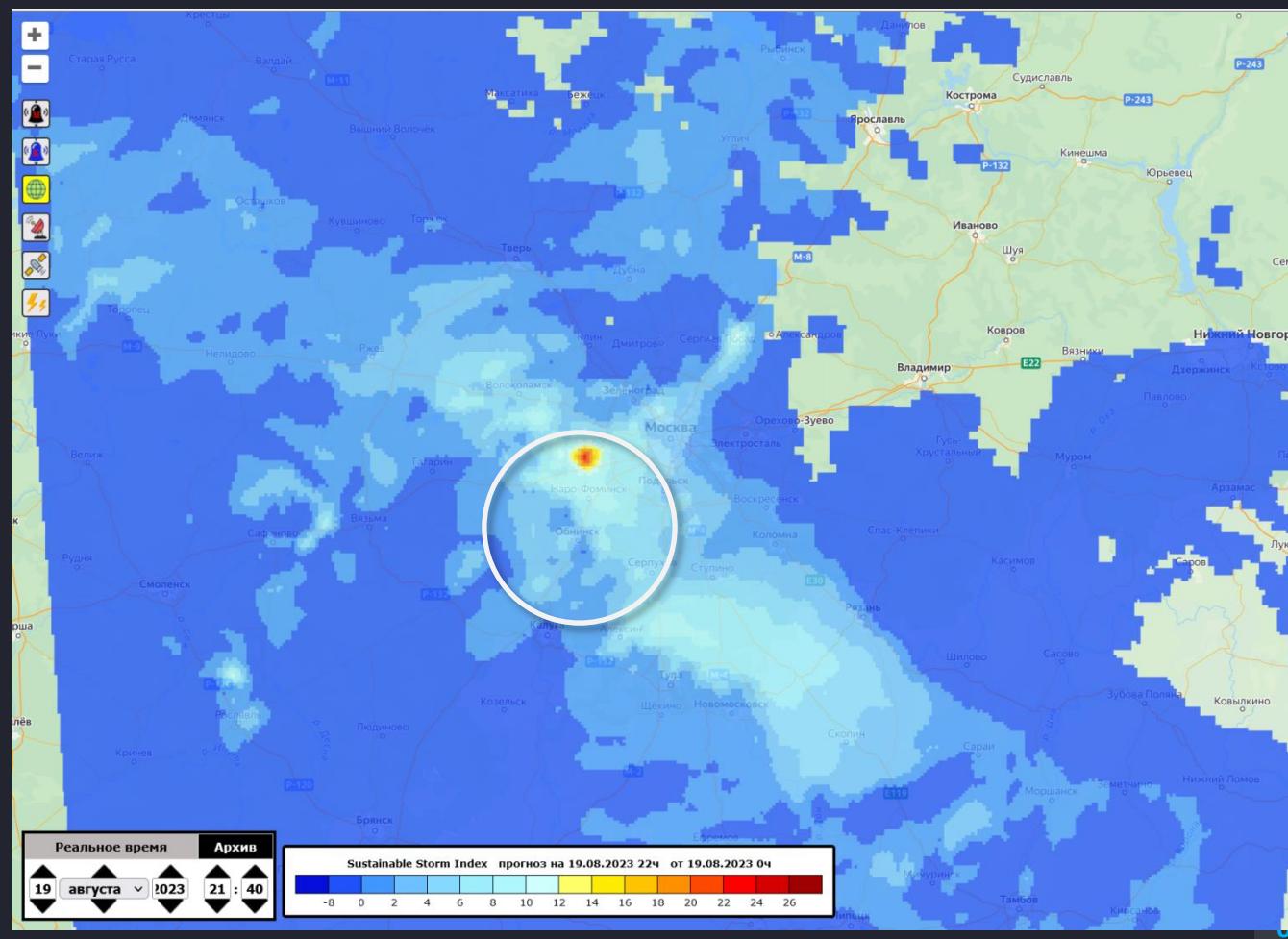
## Модельные параметры (WRF) на 22 UTC:

Max dBZ  
300-1000 hPa Div. Diff  
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

EHI

LPI

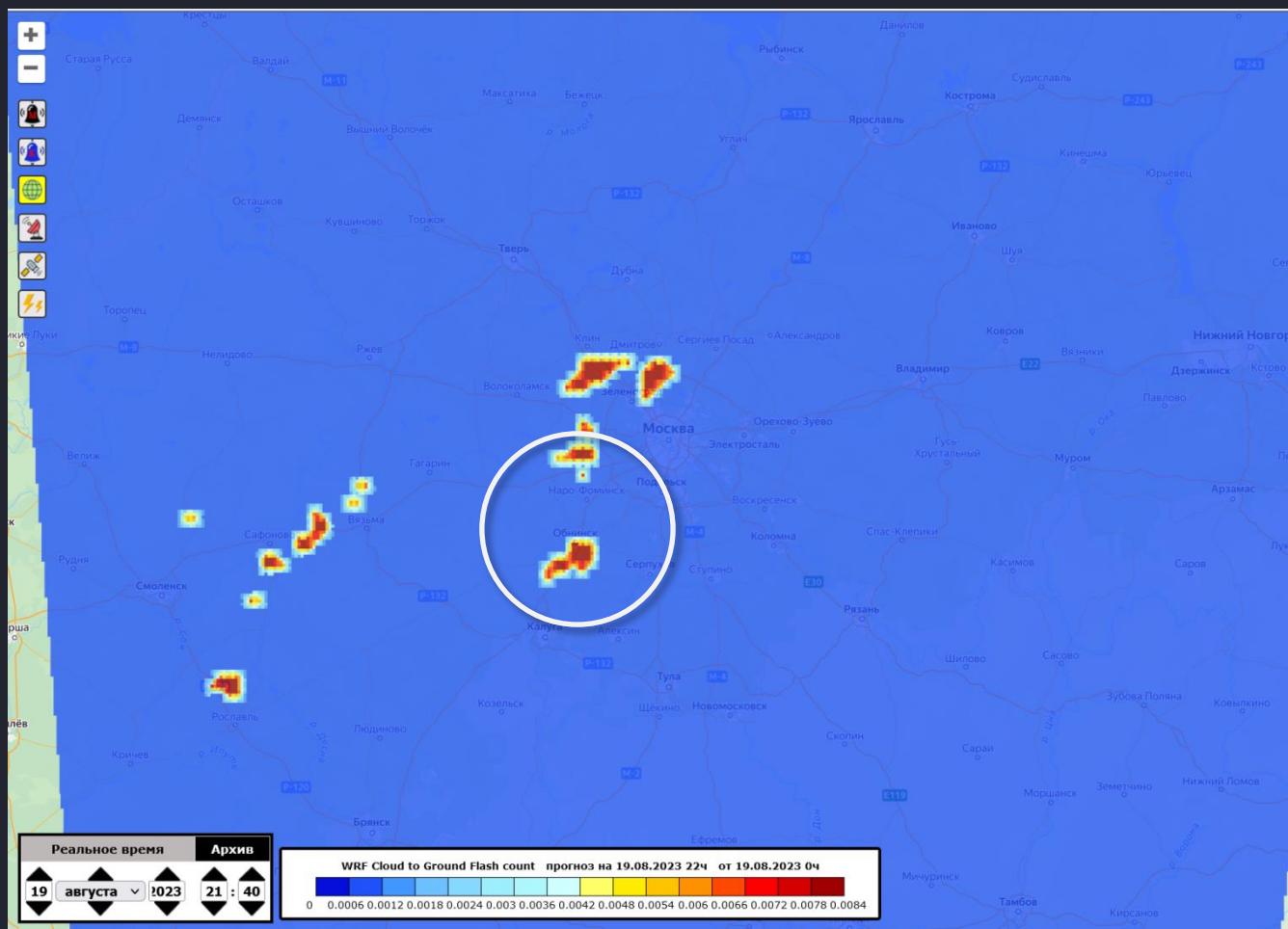
PW

SCP

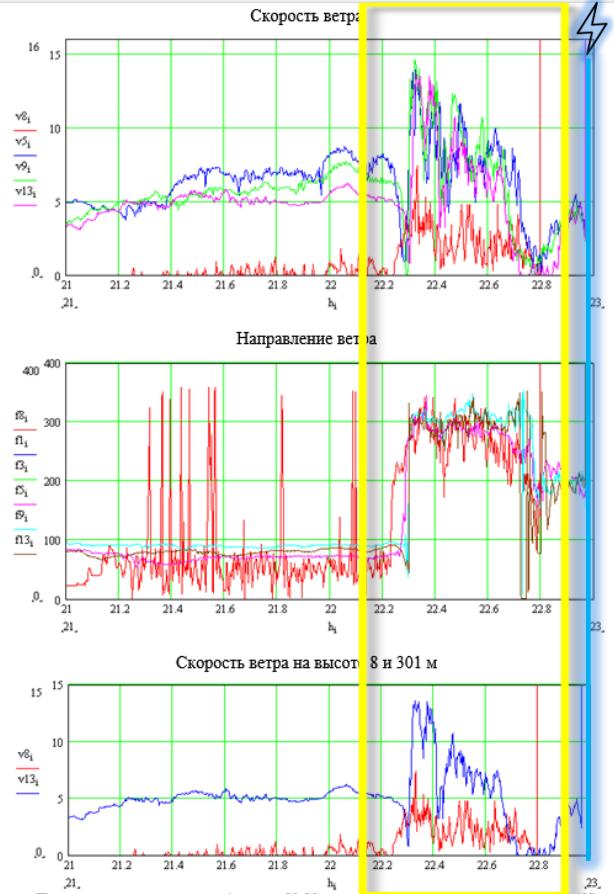
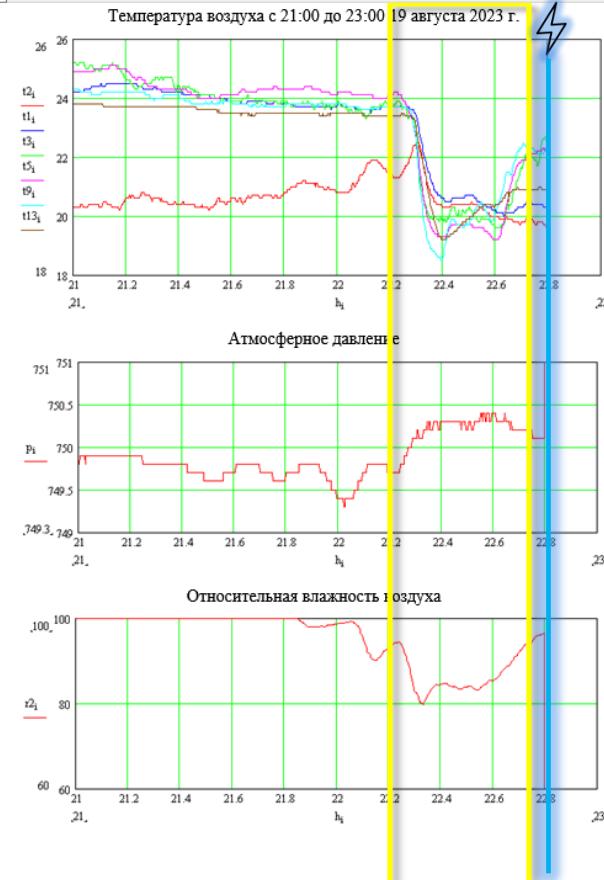
SCS

SSI

CG Flash count



## Данные ВММ



- падение Т
- Порывы ветра (с флюктуациями 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!**