

Краткосрочный прогноз конвективных опасных явлений погоды в Уральском регионе в теплый период 2020 г. с верификацией по данным Meteosat-8

*Шихов А.Н. ⁽¹⁾, Калинин Н.А. ⁽¹⁾, Быков А.В. ⁽¹⁾, Поморцева А.А. ⁽¹⁾,
Ажигов И.О. ⁽¹⁾*

¹ – Пермский государственный национальный исследовательский университет

*Исследование выполнено при поддержке гранта Президента РФ № 313.2020.5
и РФФИ (проект № 19-05-00046-а)*

Актуальность и цель работы

- Краткосрочный прогноз конвективных опасных явлений погоды (ОЯ), прежде всего места и времени их возникновения, является одной из важнейших проблем современной метеорологии
- Существует два основных подхода к прогнозу конвективных ОЯ на основе моделей численного прогноза погоды (ЧПП) – ингредиентный подход (по данным низкого горизонтального разрешения) и прямое моделирование конвекции (по данным высокого разрешения 3-5 км и детальнее).
- Плохо изучена в России проблема ложных тревог при краткосрочном прогнозе конвективных штормов на основе прямого моделирования конвекции
- В 2020 г. получен полный ряд данных глобальных моделей ЧПП GFS, GEM, а также оперативной версии региональной модели WRF версии 4.1. для территории Урала
- Цель работы – получить оценки успешности краткосрочного прогноза наиболее значимых случаев конвективных ОЯ в теплый период 2020 г. в Уральском регионе на основе этих данных

Исходные данные

- Данные наблюдений
- Данные сети метеостанций (зафиксированные случаи ОЯ)
- Сведения об ущербе, полученные из средств массовой информации и социальных сетей (геокодированы по населенным пунктам)
- Результаты мониторинга ветровалов по снимкам Sentinel-2
- Спутниковые снимки Meteosat-8
- Данные ДМРЛ – для трех из шести рассматриваемых случаев
- Карты приземного анализа, кольцевые карты погоды и карты барической топографии, данные аэрологического зондирования
- Данные моделирования – прогнозы по глобальным моделям ЧПП (GFS, GEM) и региональной модели WRF на срок 27 ч

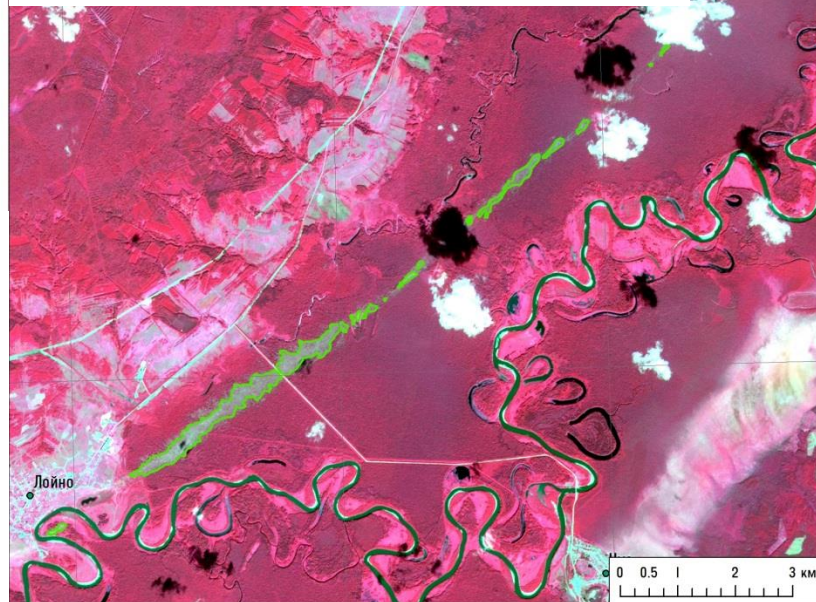
Основные сведения о рассматриваемых случаях конвективных ОЯ и их вспышек

Дата, время (ВСВ)	Регион	Тип явления	Максимальная интенсивность и место наблюдения	Количество отчетов об ОЯ и ущербе по всем источникам данных	Характеристика ущерба
25.05.2020, 11.00 – 14.00	Свердловская область (южная часть)	Шквалы	30 м/с (Липовское) 27 м/с (Невьянск) 27 м/с (Сысерть)	57	4 человека погибли, повреждены кровли домов, повалены деревья, нарушено электроснабжение 100 тыс. потребителей
		Крупный град	20 мм (Невьянск)	1	Ущерба нет
27.06.2020, 08.00 – 17.00	Кировская область, Удмуртия, Татарстан	Шквалы	25 м/с (Вятские Поляны) 24 м/с (Кирс)	62	Повреждены кровли зданий, автомобили, нарушено электроснабжение, сплошные ветровалы в лесах на площади ~1140 га
		Смерчи	≥ EF2 (Кильмезский, Уржумский районы)	9	Сплошные ветровалы на площади ~420 га
		Крупный град	40 мм (Оричевский район)	19	Уничтожен урожай, повреждены автомобили, кровли домов
16.07.2020, 16.00 – 23.00	Удмуртия, Кировская область, Пермский край	Шквал	25 м/с (Дебесы) 22 м/с (Гайны)	8	Нарушено электроснабжение в нескольких районах, сплошные ветровалы на общей площади 590 га
20.07.2020 12.00 – 20.00	Свердловская обл. (юго-запад), Пермский край (юго-восток)	Очень сильный дождь	Бисерть (82 мм/2 ч, 102 мм/15 ч), Октябрьский (62 мм/12 ч)	3	Ливневый паводок в г. Нижние Серги, разрушены и повреждены десятки жилых домов, ущерб 150 млн. руб
30.07.2020, 15.45	Кировская область, пос. Лойно	Смерч	EF2	1	Повреждены жилые дома, автомобили, сплошной ветровал на площади 132 га
31.07.2020, 12.45	г. Челябинск	Шквал	30 м/с (аэропорт Челябинск)	12	Пострадали три человека, поврежден газопровод, десятки домов и социальных объектов, повалены сотни деревьев,

Основные сведения о рассматриваемых случаях конвективных ОЯ и их вспышек



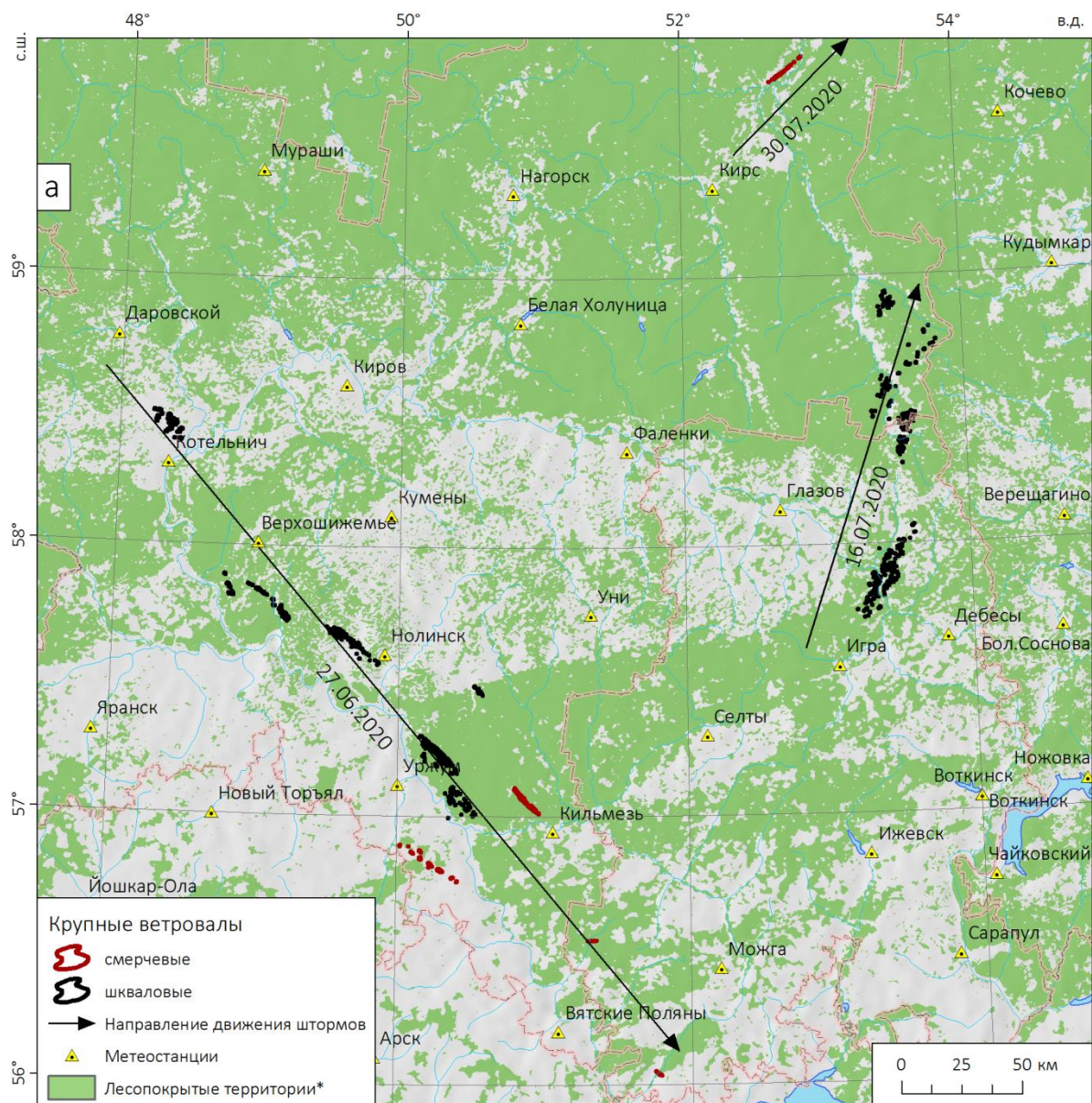
Ветровал от смерча в Кировской области 30.07.2020 г.



Разрушения от смерча в Кировской области 30.07.2020 г.



Схема расположения ветровалов (по данным Sentinel-2)



Основные сведения об использованных глобальных моделях ЧПП

Модель ЧПП	Разработчик модели	Шаг сетки, км	Число вертикальных уровней	Шаг сетки выходных данных	Ссылка на получение данных
GFS	Национальный центр по прогнозированию окружающей среды (NCEP), США	13	64	0,25°	http://nomads.ncep.noaa.gov/pub/data/nccf/com/gfs/prod/
GEM	Метеослужба Канады (CMC)	10	84	0,15°	https://dd.weather.gc.ca/model_gem_global/

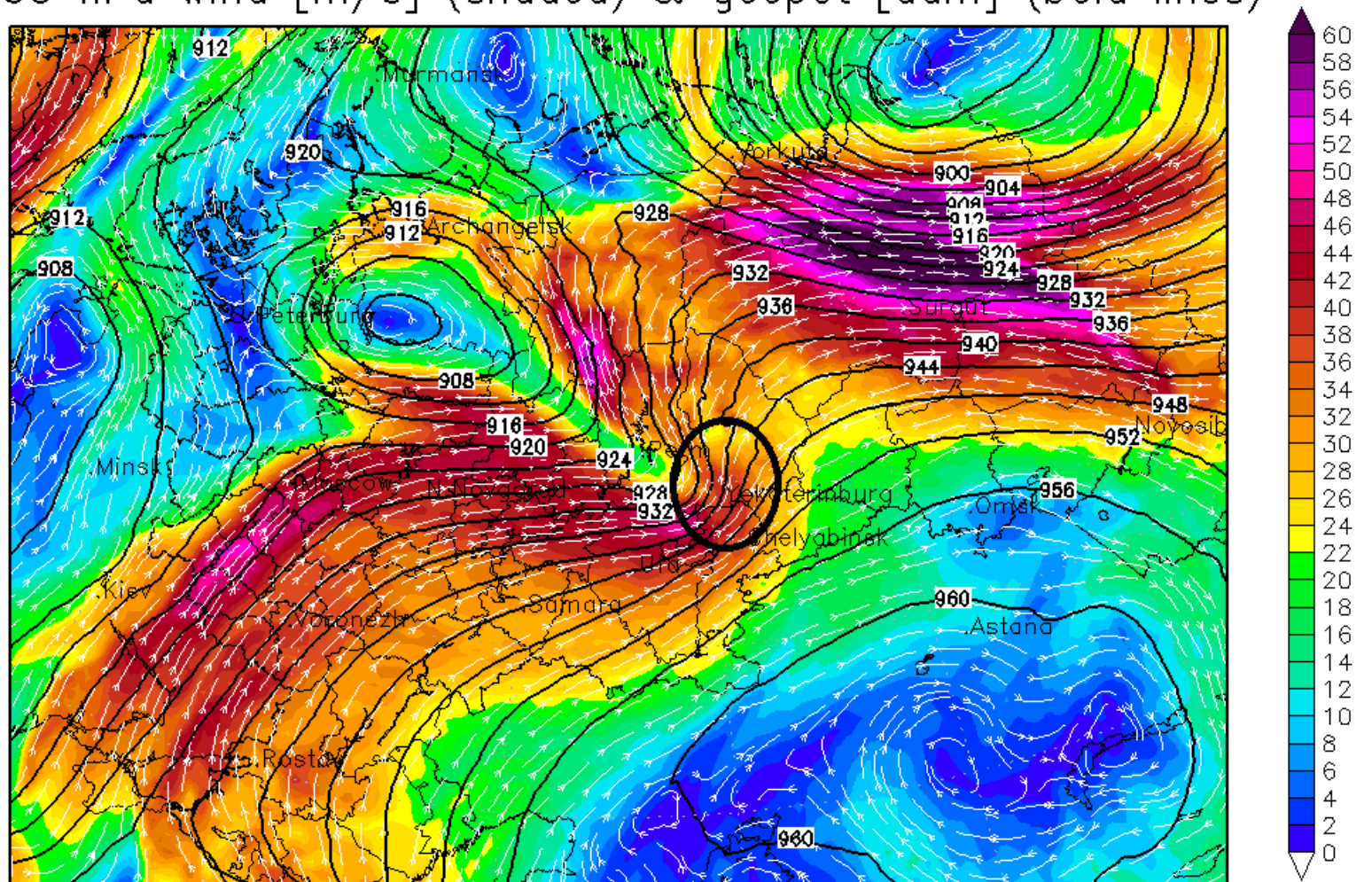
Конфигурация модели WRF для оперативного краткосрочного прогноза конвективных ОЯ по территории Уральского региона

Характеристика модели	Принятая настройка
Начальные и граничные условия	Прогноз GFS с шагом сетки 0,25° и шагом по времени 1 ч
Внешний домен (шаг сетки и число узлов)	9 км/333x333
Вложенный домен (шаг сетки и число узлов)	3 км/400x400
Координаты центра домена	58° N, 56° E
Число вертикальных уровней	48
Модель рельефа	U.S. Geological Survey (USGS) DEM (30s)
Максимальная заблаговременность прогноза	24 ч
Временной шаг вывода данных	1 ч
Динамическое ядро	ARW
Шаг интегрирования по времени	Адаптивный
Микрофизика облачности	Схема Томпсона
Планетарный пограничный слой	Схема Меллора-Ямады-Янича (Eta)
Подстилающая поверхность	Модель Noah
Коротковолновая и длинноволновая радиация	Схема GFDL (Eta)
Приземный слой	Схема Монина-Обухова с вязким подслоем Карлсона-Боланда и стандартными функциями подобия
Конвекция	Прямое моделирование (без параметризации) на обоих доменах

Условия возникновения конвективных ОЯП 25.05.2020 г.

Copyright (C) Bykov Alexey, Perm State University, Meteorology Department

300 hPa wind [m/s] (shaded) & geopot [dam] (bold lines)

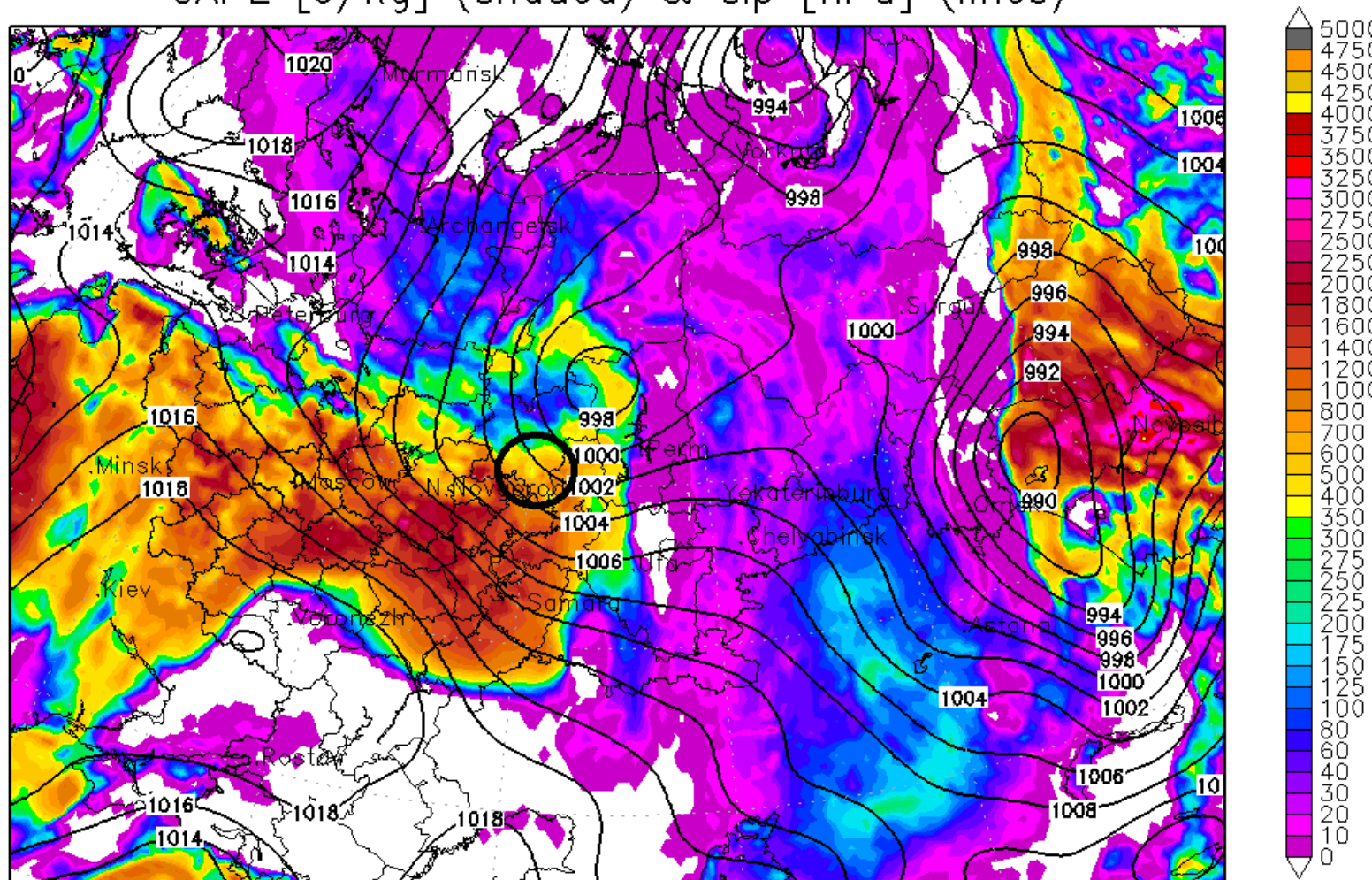


GFS Model Run: 00Z25MAY2020 Valid: 12Z25MAY2020

Условия возникновения конвективных ОЯП 27.06.2020 г.

Copyright (C) Bykov Alexey, Perm State University, Meteorology Department

CAPE [J/kg] (shaded) & slp [hPa] (lines)

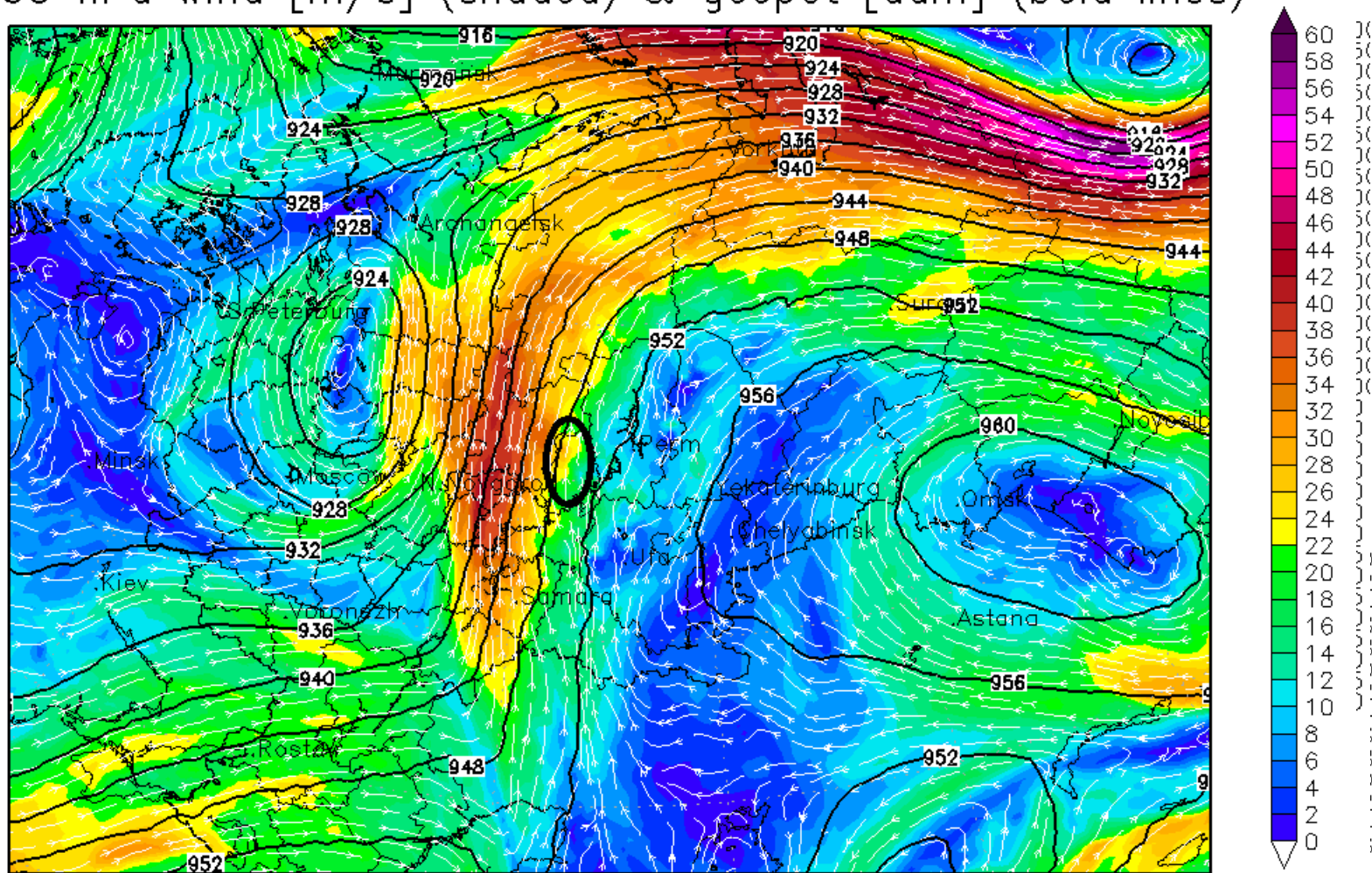


GFS Model Run: 12Z26JUN2020 Valid: 12Z27JUN2020

Условия возникновения конвективных ОЯП 16.07.2020 г.

Copyright (C) Bykov Alexey, Perm State University, Meteorology Department

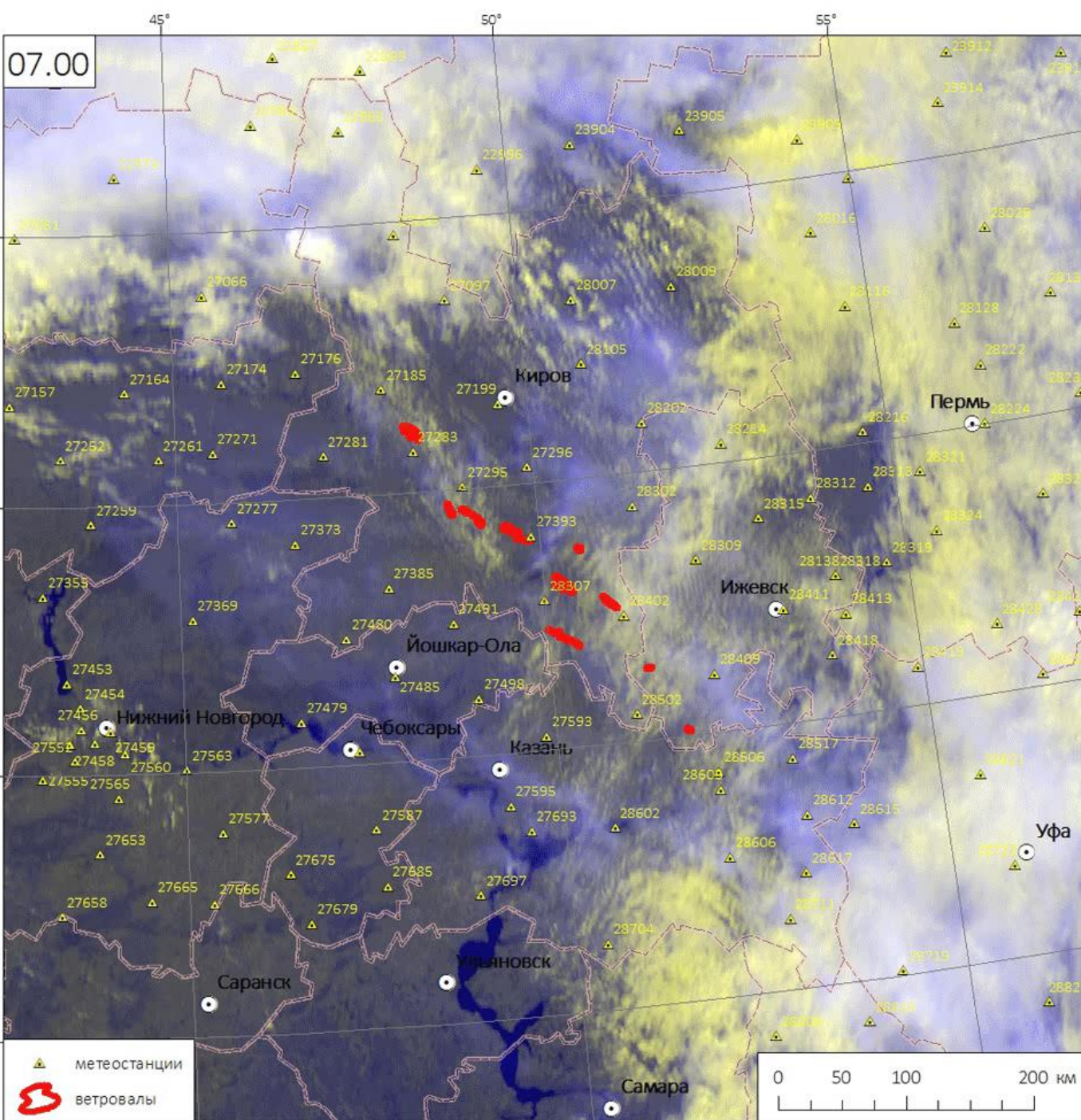
300 hPa wind [m/s] (shaded) & geopot [dam] (bold lines)



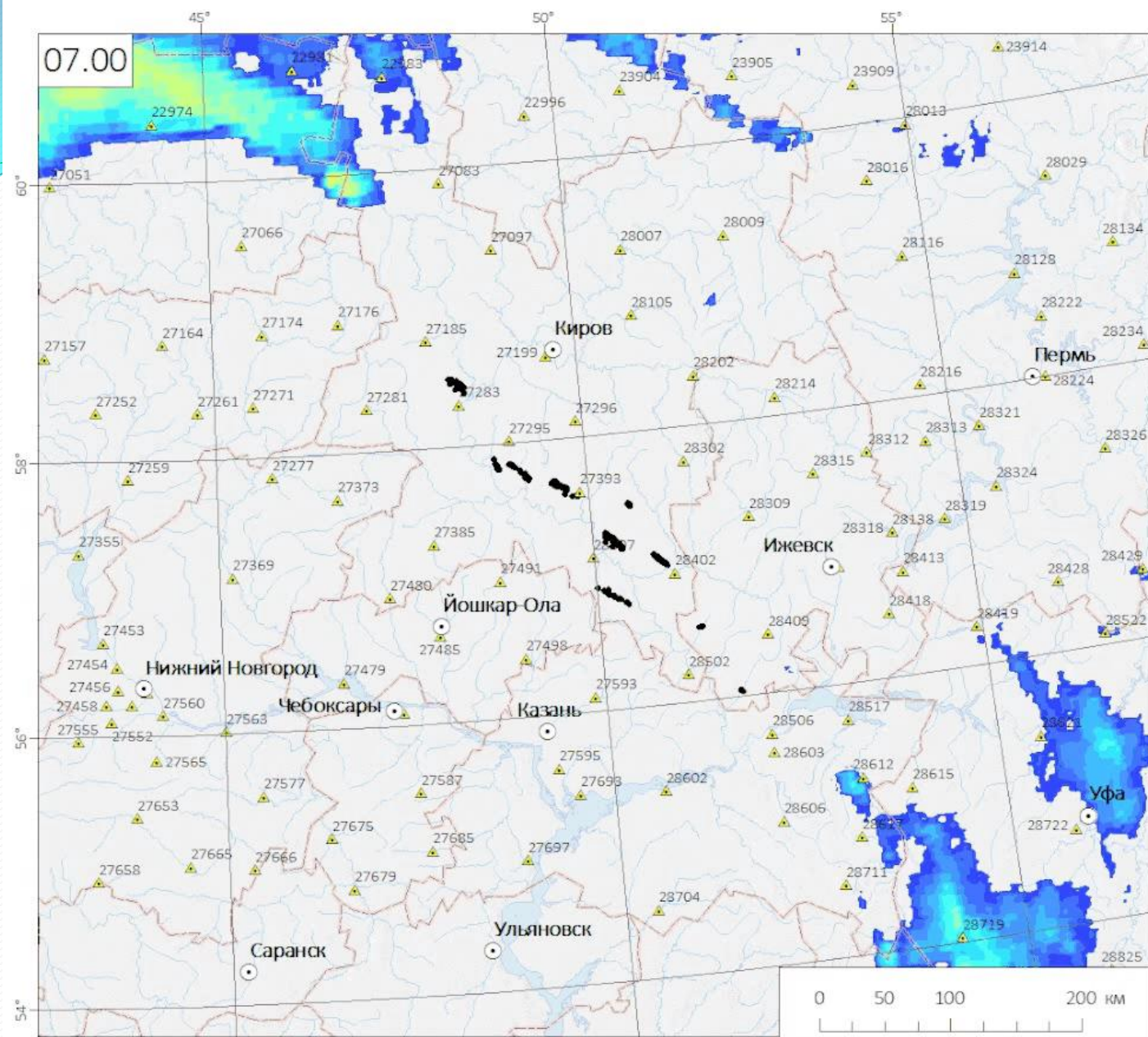
GFS Model Run: 12Z16JUL2020 Valid: 18Z16JUL2020

Характеристика синоптических условий возникновения конвективных ОЯ и их вспышек

Дата, время (BCB)	Характеристики циклона			Характеристики атмосферного фронта		Количественные характеристики*			Тип конвективного шторма
	Происхождение	Стадия развития	Направление смещения	Тип	Ориентация	ΔT_{850} °C/500 км	Td_{2m} , °C	V_{850} м/с	
25.05.2020, 11.00 – 14.00	местный	молодой	ЮЗ-СВ	холодный	Ю-С	17	16	23	Линия шквалов
27.06.2020, 08.00 – 17.00	ныряющий	молодой	СЗ-ЮВ	холодный у точки окклюзии	З-В	9	13	22	Линия шквалов
16.07.2020, 16.00 – 23.00	южный	заполняющийся	ЮЗ-СВ	мало-подвижный с волнами	ЮЮЗ-ССВ	9	16	13	МКК
20.07.2020 12.00 – 20.00	местный	заполняющийся	В-З	мало-подвижный с волнами	ВЮВ-ЗСЗ	3	18	6	Скопление штормов масштаба мезо-β
30.07.2020, 15.45	западный	молодой	ЗСЗ-ВЮВ	холодный у точки окклюзии	ЮЮЗ-ССВ	3	19	15	Суперячейка
31.07.2020, 12.45	западный	макс. развитие	мало-подвижный	мало-подвижный	ЗЮЗ-ВСВ	6	13	11	Суперячейка

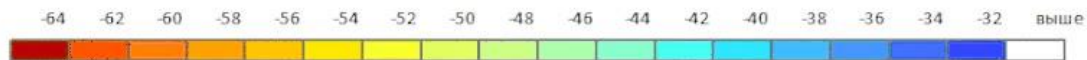


- Анимация развития шторма 27 июня 2020 г. по данным Meteosat-8, синтез HRV-HRV-IR



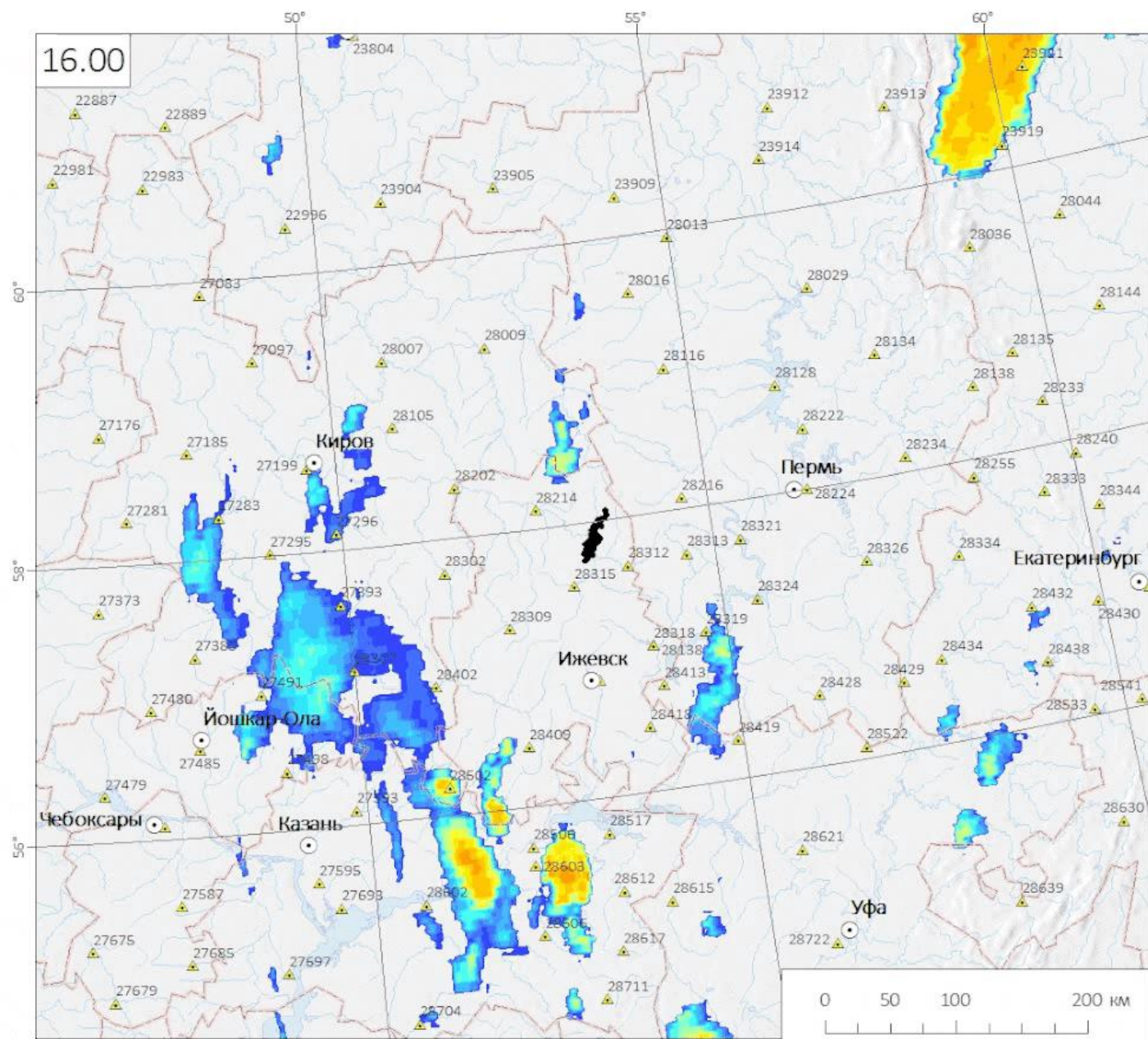
- Анимация развития шторма 27 июня 2020 г. по данным Meteosat-8, температура верхней границы облаков

Температура ВГО, °C



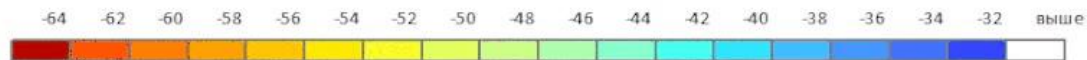
- ▲ метеостанции
- ⊕ ветровалы

16.00



- Анимация развития шторма 27 июня 2020 г. по данным Meteosat-8, температура верхней границы облаков

Температура ВГО, °С



▲ метеостанции
☁ ветровалы

Радиолокационные характеристики опасных конвективных ОЯ

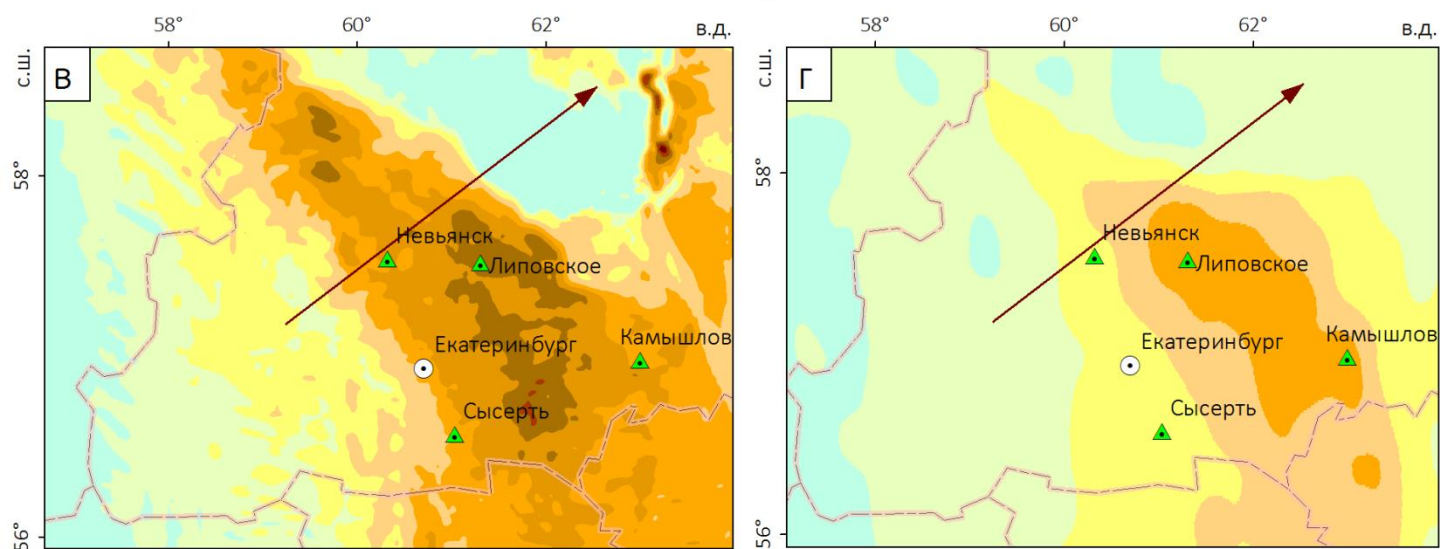
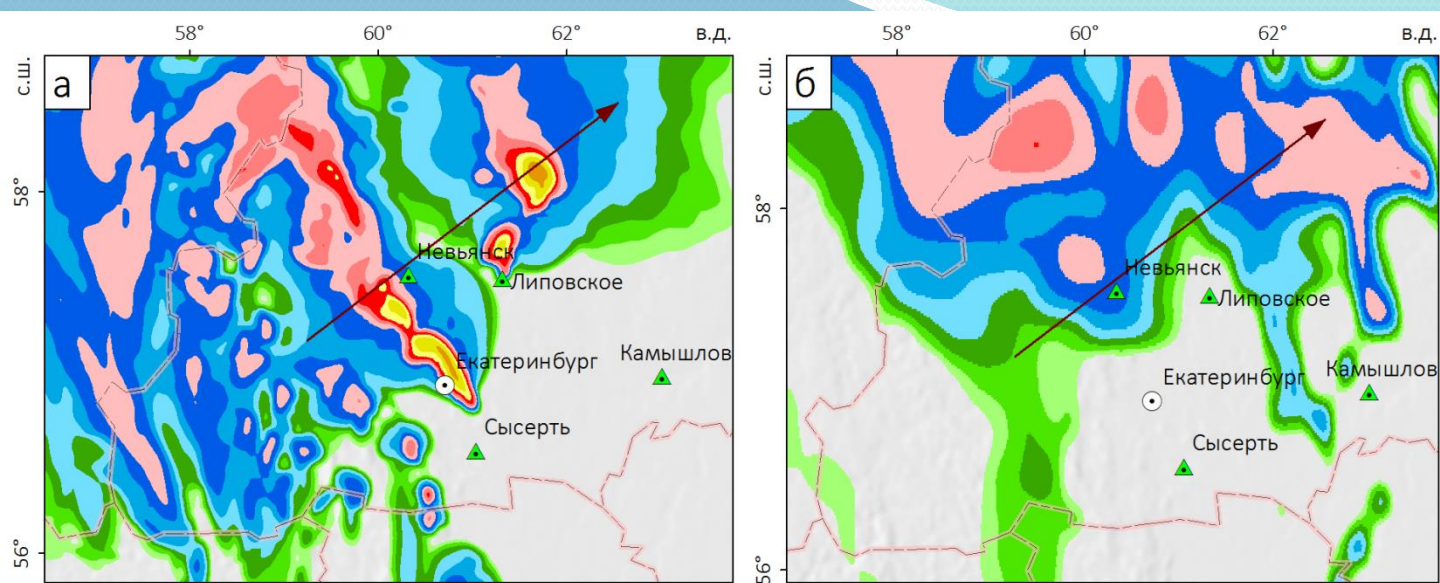
Дата, время (BCB)	Вид явления	Максимальная отражаемость в ядре радиоэха (Z_{\max}), DBz	Средняя отражаемость в ядре радиоэха, DBz	Средняя высота зоны максимальной отражаемости, км	Средняя максимальная высота Cb с ОЯ, км
27.06.2020, 08.00 – 16.00	Шквалы, смерчи, крупный град	65	53	7,6	13,5
16.07.2020, 16.00 – 22.00	Шквал	60	52	10,8	14,4
30.07.2020, 13.00 – 16.00	Смерч	60	48	4,9	12,7

Диагностические переменные, рассчитанные по данным
глобальных моделей атмосферы
GFS (в числителе) и GEM (в знаменателе)

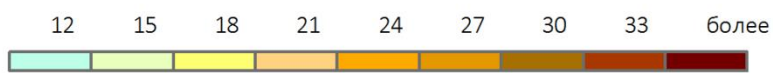
Дата, время (BCB)	SB CAPE, Дж/кг	K Index (°C)	Precipitable water (mm)	SWEAT	DLS, м/с	MLS, м/с	0-3 km SRH, м ² /с ²	SCP	EHI	WMAX- SHEAR
25.05.2020, 11.00	<u>3372/</u> <u>2691</u>	<u>41/41</u>	45/43	<u>563/556</u>	<u>30/30</u>	<u>31/20</u>	<u>1127/</u> <u>1031</u>	<u>20.9/</u> <u>26.1</u>	<u>5.8/</u> <u>7.5</u>	<u>1587/</u> <u>1782</u>
27.06.2020, 12.00	2122/ 2262	36/39	34/36	286/396	<u>31/29</u>	22/21	172/ 300	3.2/ 7.0	1.5/ 2.6	1310/ 1210
16.07.2020, 19.00	2148/ 2849	<u>41/39</u>	<u>46/37</u>	344/345	10/5	11/7	209/ 382	1.2/ 1.5	0.9/ 2.9	370/ 271
20.07.2020 12.00	1386/ 2062	36/40	44/43	240/303	9/10	7/9	215/ 196	0.6/ 0.6	0.7/ 1.1	377/ 451
30.07.2020, 15.00	582/ 1683	35/37	41/40	337/370	21/19	22/24	201/ 510	0.2/ 4.4	0.2/ 2.6	407/ 895
31.07.2020, 12.00	1830/ 2758	36/38	42/34	274/277	21/22	19/13	182/ 123	1.2/ 1.7	1.3/ 1.5	694/ 1036

Диагностические переменные, рассчитанные по фактическим данным радиозондирования атмосферы (РА) и по данным глобальных моделей атмосферы GFS и GEM (РА/GFS/GEM)

WMO ID станции, дата и время (BCB)	SB CAPE, Дж/кг	SB CIN, Дж/кг	K Index (°C)	Precipitable water (mm)	SWEAT	DLS, м/с	MLS, м/с
28445 25.05.2020, 12.00	366/22/ 1132	-156/ -104/-1	25/28/35	28/31/32	258/280/ 90	39/12/11	25/3/2
28225 16.07.2020, 12.00	1213/2895/ 2249	-156/- 32/-57	25/29/21	24/27/22	237/242/ 165	12/6/5	4/4/3
28225 20.07.2020, 12.00	170/11/529	-85/-1/0	35/32/37	35/38/42	235/207/ 217	5/4/8	4/1/4
27199 30.07.2020, 12.00	17/190/740	-88/0/-22	27/32/35	30/40/35	232/218/ 188	15/8/11	11/9/7



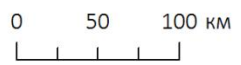
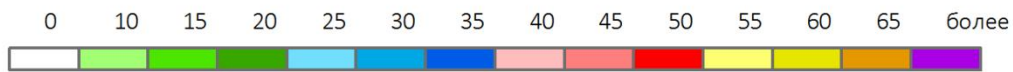
Скорость порывов ветра, м/с



▲ Метеостанции, отметившие шквалы >25 м/с

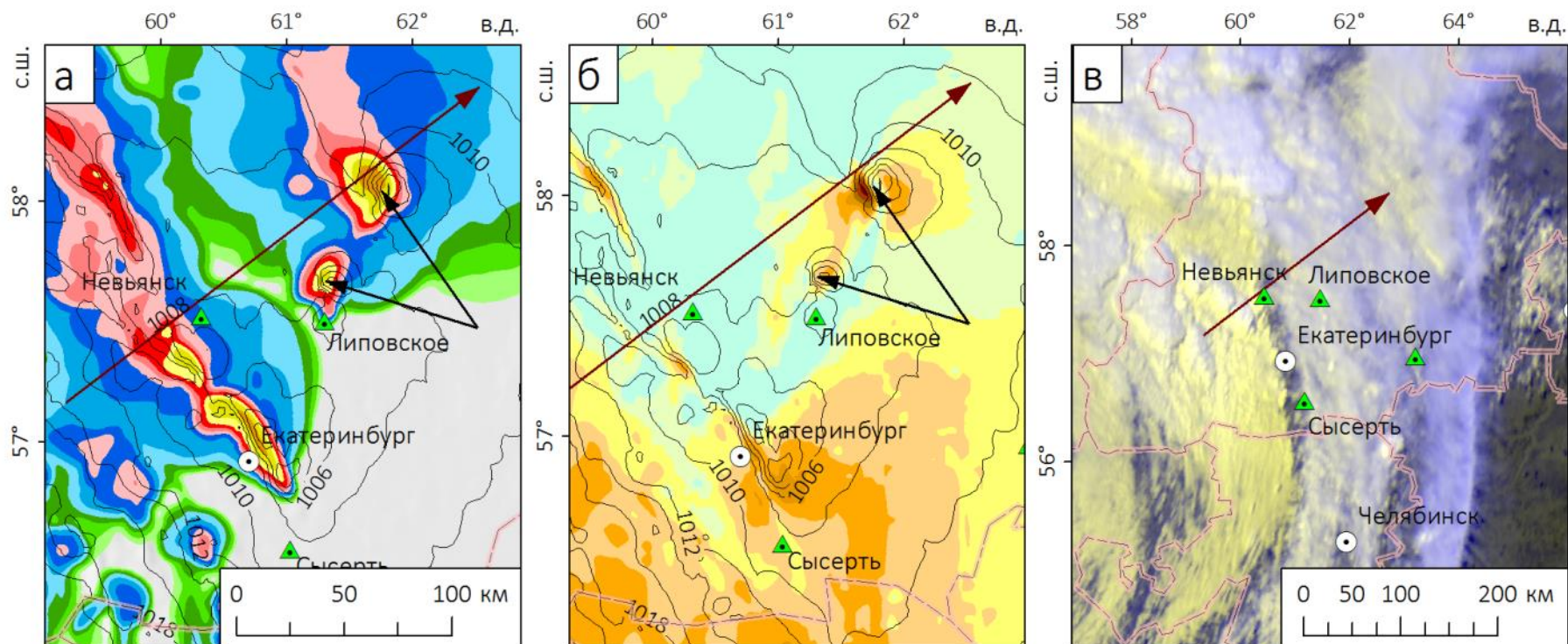
➔ Направление движения шторма

Расчетная композитная отражаемость, DBz



Прогноз
вспышки ОЯ 25
мая 2020 года:
расчетная
композитная
отражаемость
и скорость
порывов ветра
по модели WRF
(а, в)
и GFS (б, г) за
13.00 ВСВ

Прогноз вспышки ОЯ 25 мая 2020 года: расчетная композитная отражаемость (а) и скорость порывов ветра (б) по модели WRF за 11.00 ВСВ, и снимок Meteosat-8 в синтезе каналов HRV-HRV-IR за этот же срок (в). Черными стрелками (а, б) показаны мезоциклоны, которые прогнозировались по модели WRF



Скорость порывов ветра, м/с

12 15 18 21 24 27 30 33 более



Расчетная композитная отражаемость, DBz

0 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 более

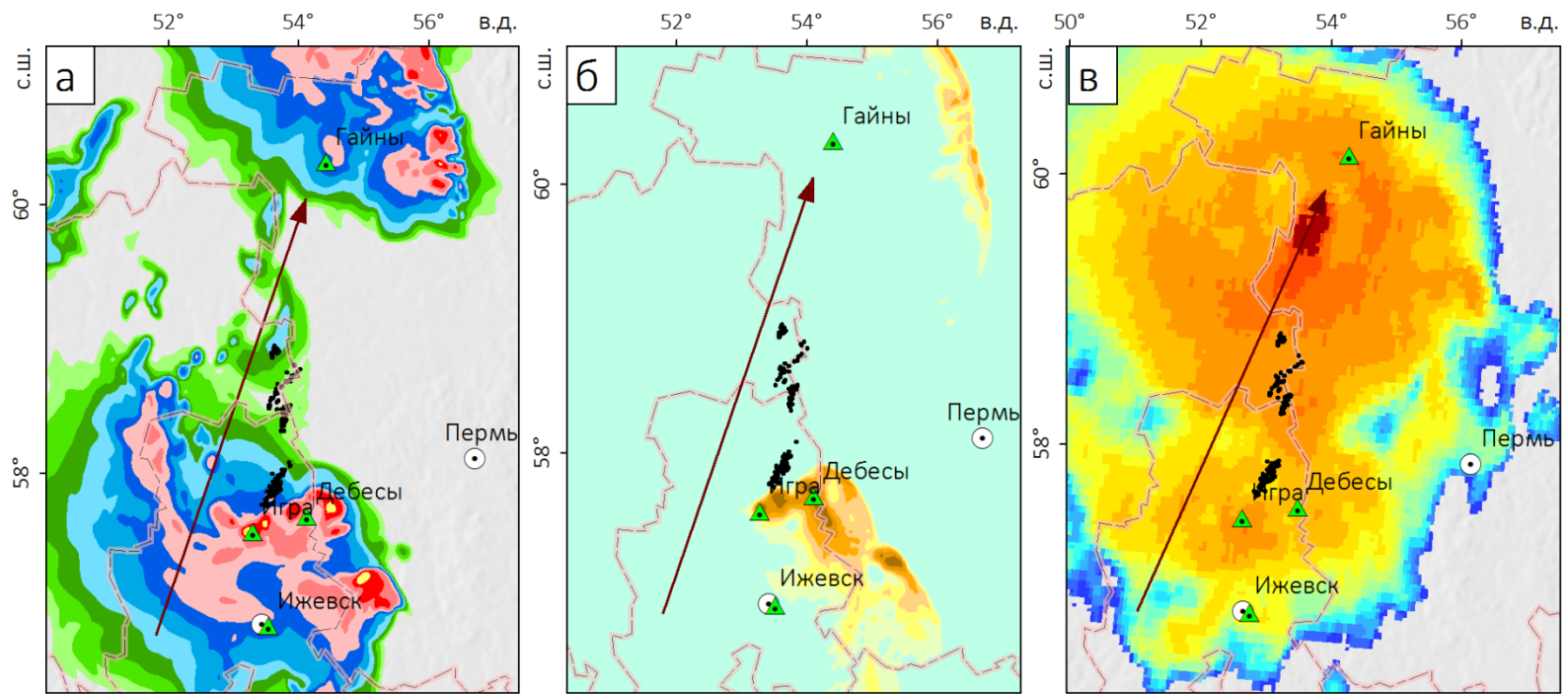


▲ Метеостанции, отметившие шквалы >25 м/с

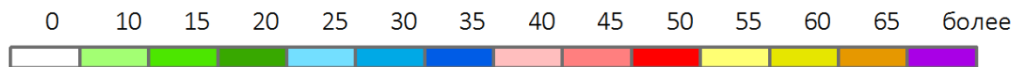
— 1010 — Изобары, гПа

➔ Направление движения шторма

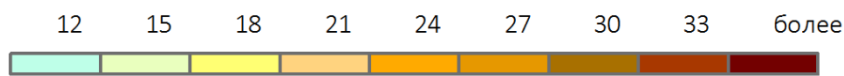
Прогноз вспышки ОЯ 16 июля 2020 года: расчетная композитная отражаемость (а) и скорость порывов ветра (б) по модели WRF за 22.00 ВСВ, и температура ВГО по снимку Meteosat-8 за этот же срок (в)



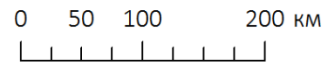
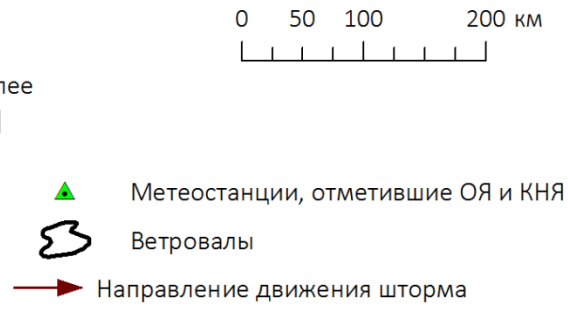
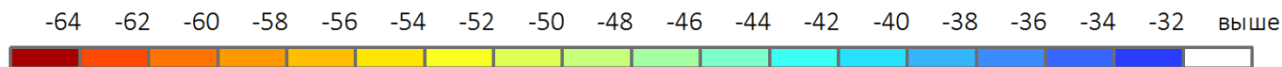
Расчетная композитная отражаемость, DBz



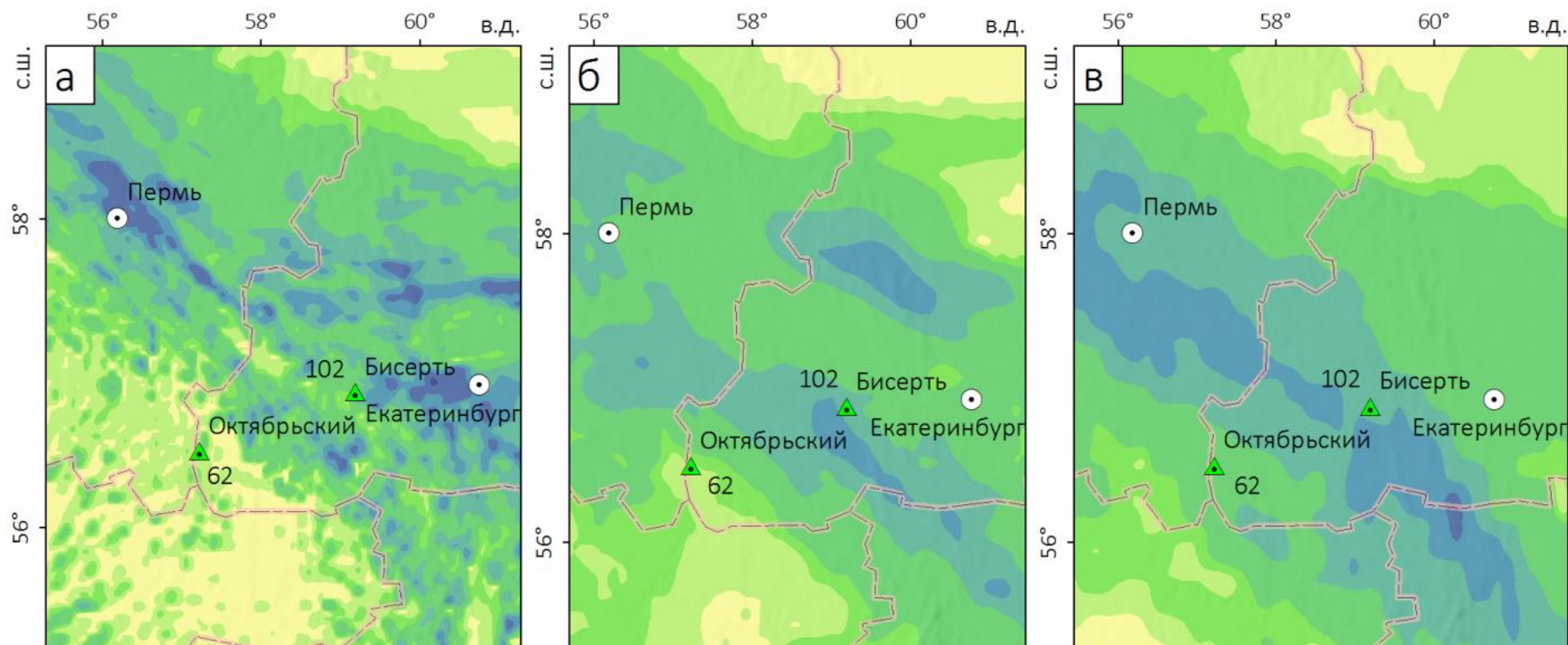
Скорость порывов ветра, м/с



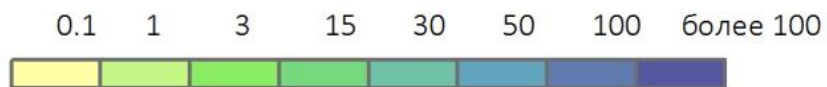
Температура ВГО, °C



Прогноз очень сильного дождя 20 июля 2020 года:
количество осадков за период с 3.00 ВСУ 20 июля по 3.00
ВСУ 21 июля по моделям WRF (а), GFS (б) и GEM (в)



Количество осадков за 24 ч, мм



Метеостанции, отметившие
осадки >30 мм



Основные выводы

- Во всех случаях по данным одной или обеих глобальных моделей атмосферы (GFS и GEM) отмечались условия, благоприятные для развития конвективных ОЯ – CAPE > 1000 Дж/кг и наличие динамического фактора (атмосферного фронта). При этом модель GEM систематически завышала CAPE в сравнении с данными модели GFS.
- В 4-х случаях DLS и MLS превышал 20 м/с, в двух - достигал 30 м/с.
- Случаи ОЯ, связанные с конвективными системами масштаба мезо- α (МКК, линиями шквалов) хорошо воспроизводятся моделью WRF. Глобальные модели GFS и GEM также воспроизводят такие МКС, а в некоторых случаях и сами явления.
- Локальные явления, связанные с МКС масштаба мезо- β или суперячейками, вообще не воспроизводятся моделью
- Отмечены ложные тревоги по модели WRF - 25.05.2020 г. завышение скорости ветра при шквале, и формирование двух мезоциклонов, которые не наблюдались. В случае 16.07.2020 г. модель воспроизводит формирование двух МКС с сильными шквалами вместо одной.



Спасибо за внимание

*Андрей Шихов, к.г.н,
Пермский государственный университет
e-mail: and3131@inbox.ru
URL: <http://accident.perm.ru/>*