

# Долгоживущие сильные шквалы в лесной зоне России

Шихов А.Н.<sup>1,2</sup>, Чернокульский А.В.<sup>2,3</sup>, Ярынич Ю.И.<sup>2,4</sup>

<sup>1</sup> Пермский государственный университет, Пермь, Россия

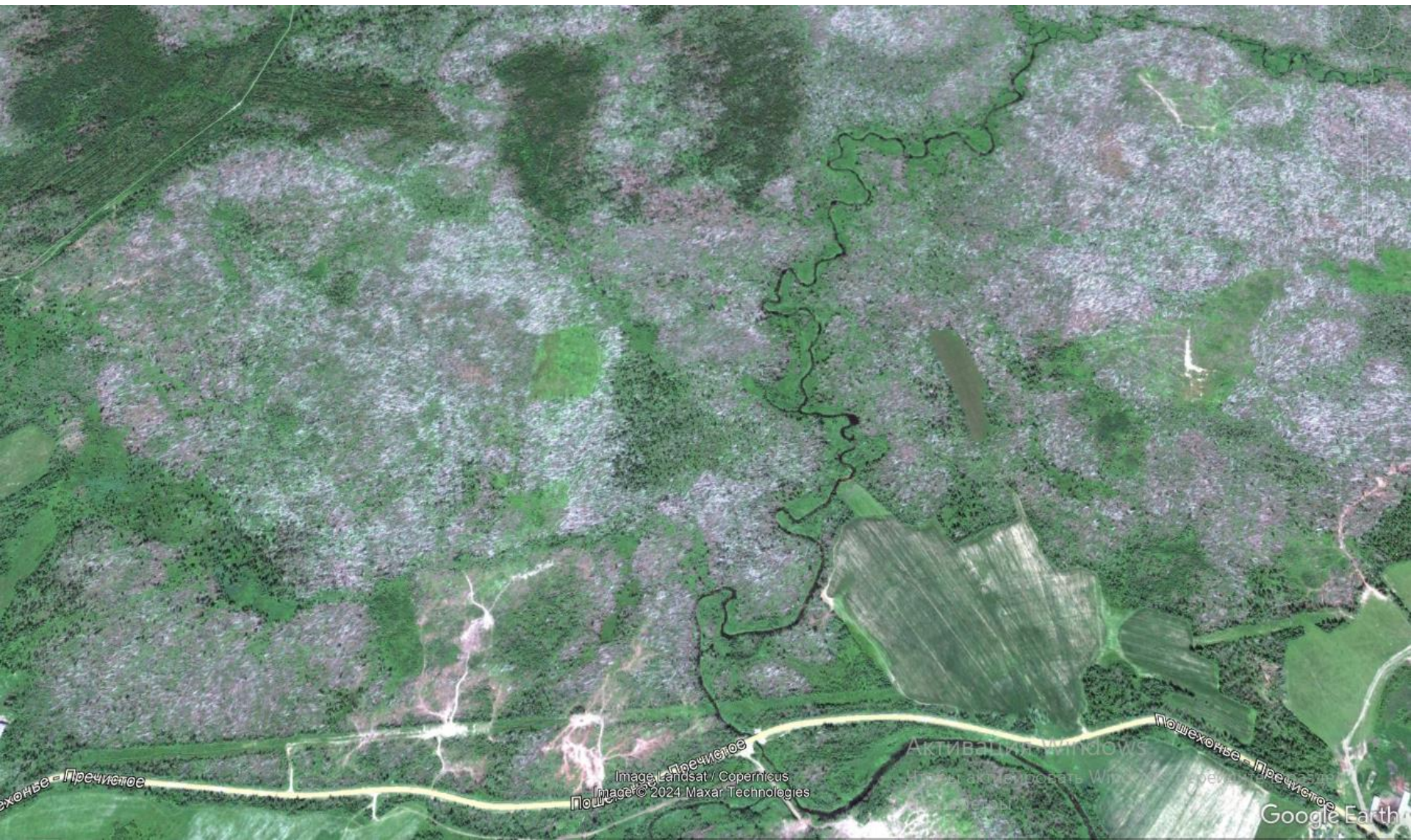
<sup>2</sup> Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup> Институт географии РАН, Москва, Россия

<sup>4</sup> Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

*Исследование выполнено при поддержке РФФ, проект №24-17-00357*

# Последствия долгоживущего сильного шквала в Первомайском районе Ярославской области 27.06.2010



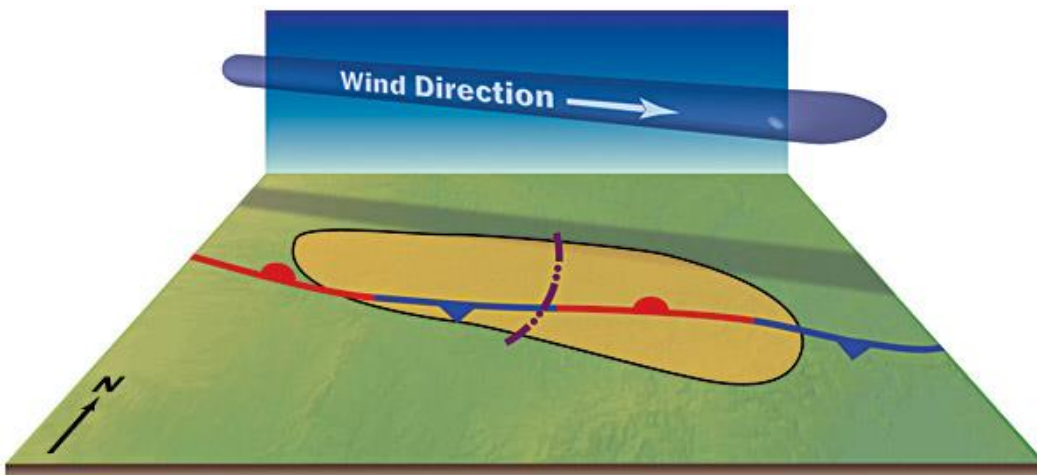
# Мотивация

- Сильные долгоживущие шквалы – наиболее опасные конвективные явления, характерные для территории России
- Охватывают значительную территорию (длина пути до 500 км и более, ширина до 50-70 км)
- Вызывают существенные человеческие потери (В XXI веке по России – не менее 87 жертв и 556 пострадавших) – больше, чем от смерчей
- Вызывают катастрофические ветровалы в лесной зоне и ущерб для сельского хозяйства
- Вследствие этого отмечается рост внимания к их изучению
- **Цель исследования** – систематизировать данные о долгоживущих сильных шквалах (в том числе близких к критерию деречо), условиях их возникновения в лесной зоне России и наносимом ущербе

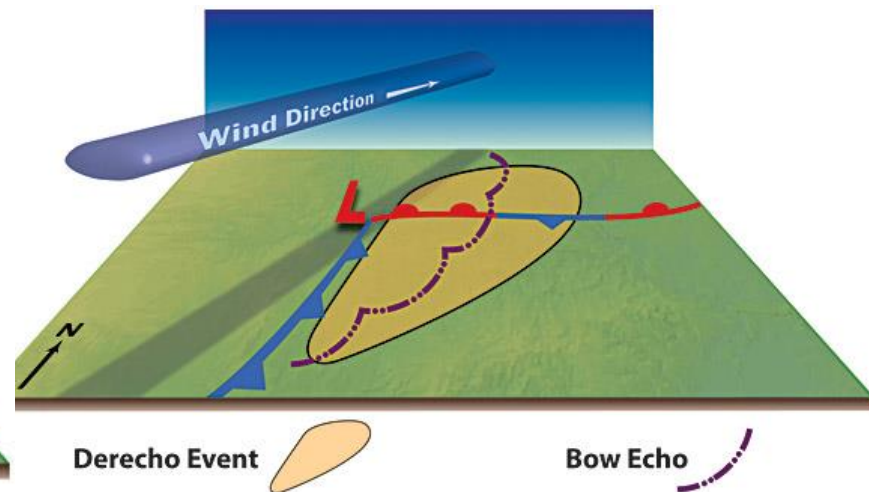
# Определение и классификация деречо

- Derecho is a widespread, long-lived, straight-line wind storm that is associated with a fast-moving group of severe thunderstorms known as a mesoscale convective system (Corfidi et al., 2016)
- Критерии деречо: длина полосы разрушений не менее 400 км; порывы ветра  $\geq 26$  м/с вдоль всего трека; несколько пунктов где отмечен ураганный ветер ( $\geq 33$  м/с) или более, или ущерб от него

Progressive derecho

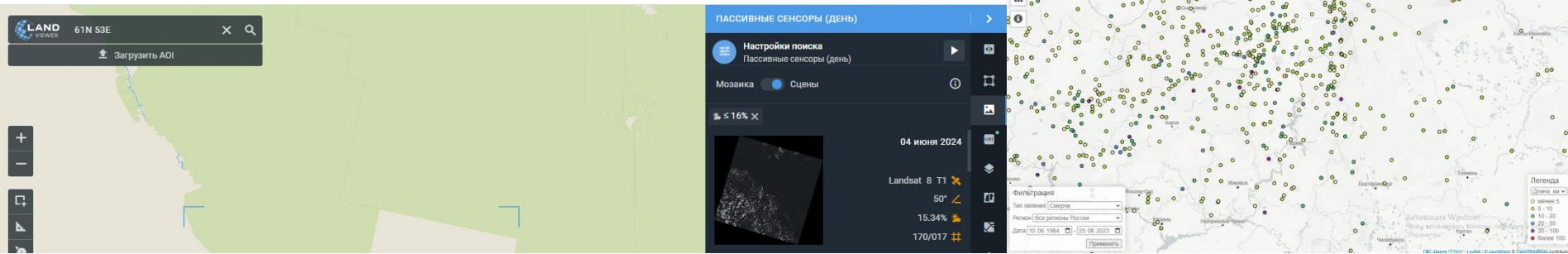


Serial (multi-bow) derecho

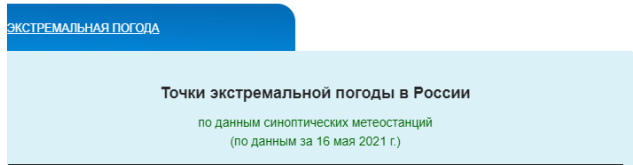


# Исходные данные

## Спутниковые снимки и ветровалы



## Данные наблюдений метеостанций



## реанализ



## Оценки ущерба

## Снимки с метеорологических спутников



MONITORING WEATHER AND CLIMATE FROM SPACE

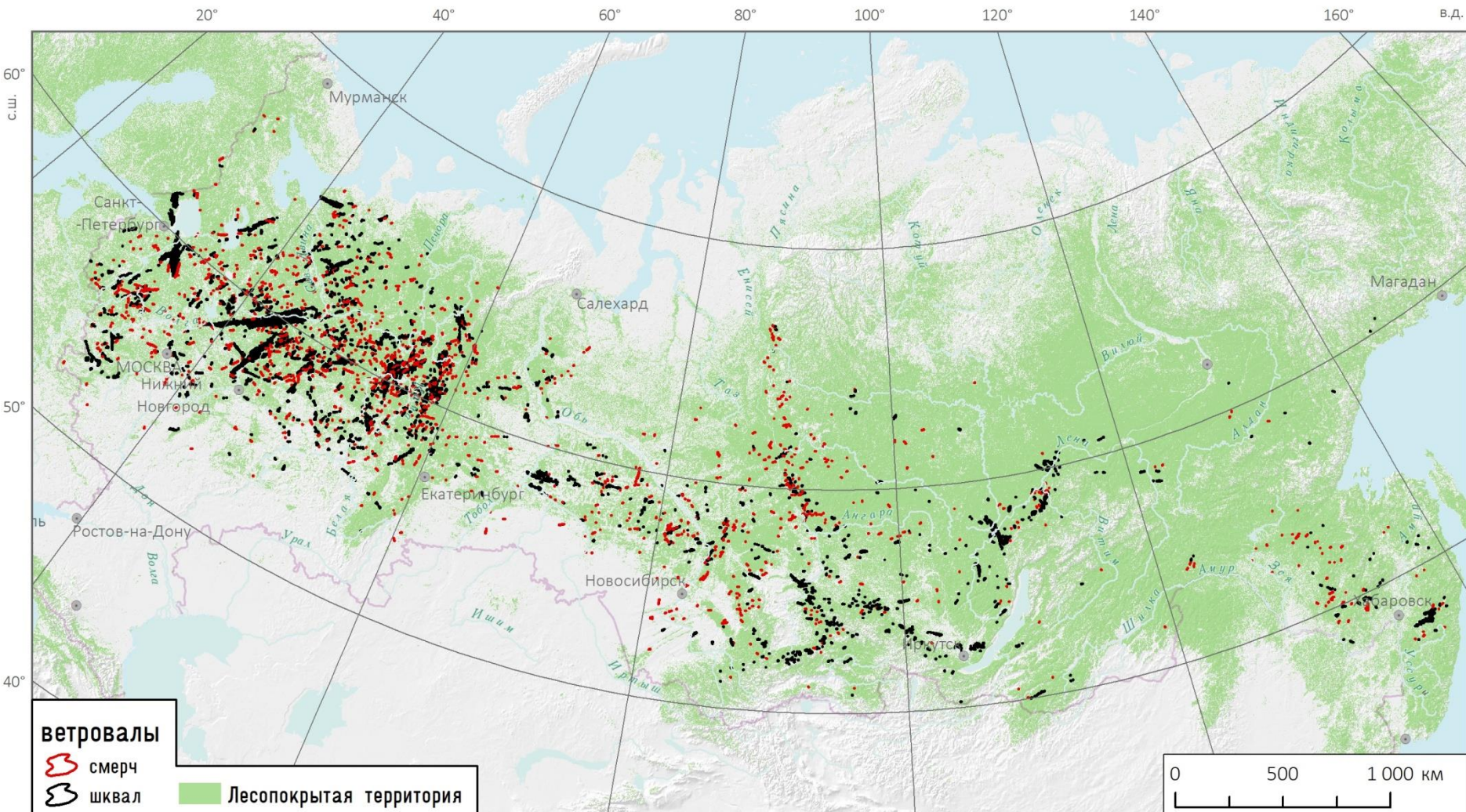


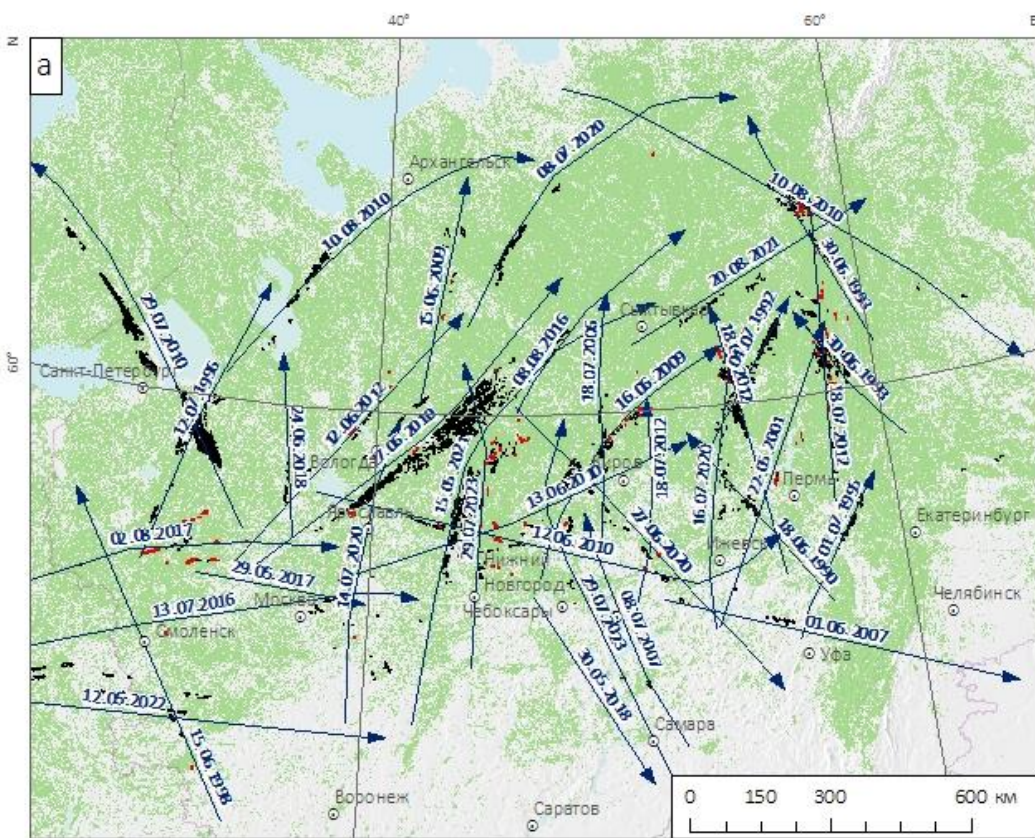
EARTH OBSERVATION PORTAL - MY ACCOUNT

# Шкваловые и смерчевые ветровалы в лесной зоне России

Всего 2512 ветровалов, S = 576,6 тыс. га

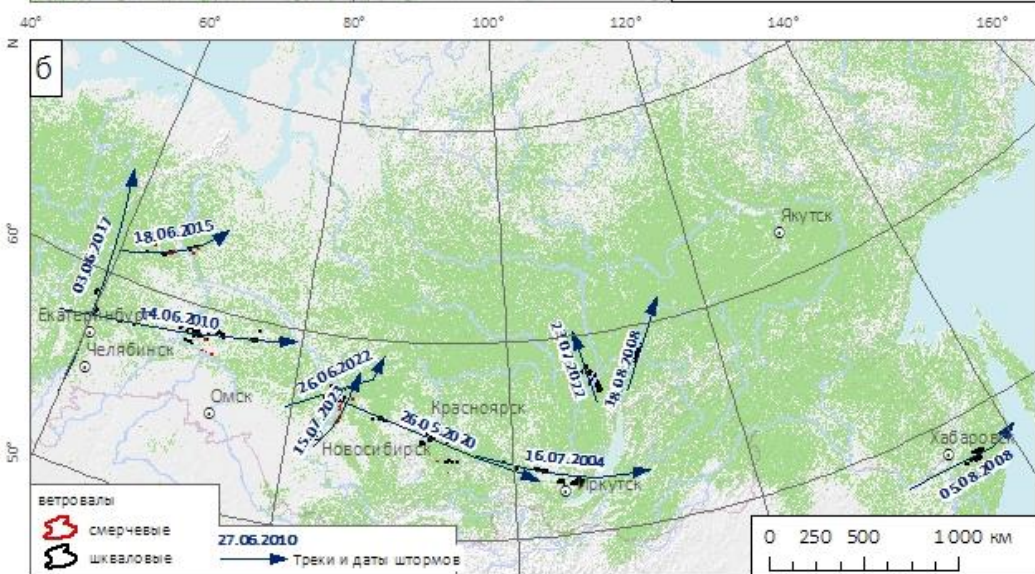
<https://tornado.gispsu.ru/>

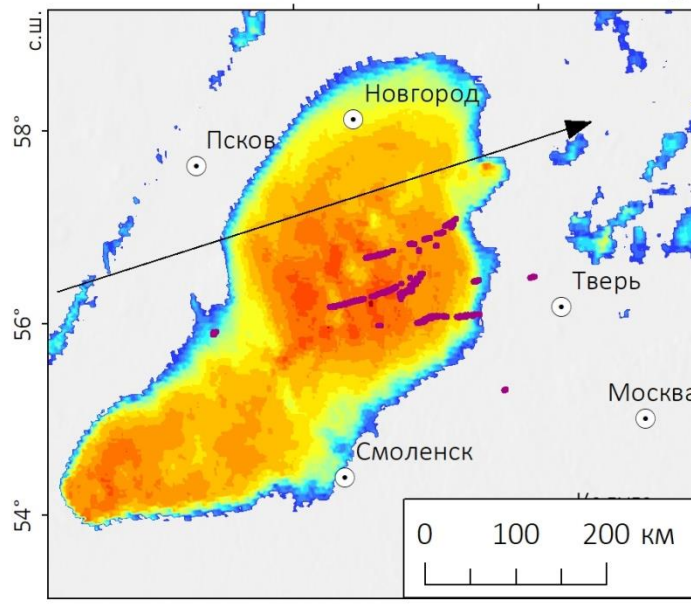
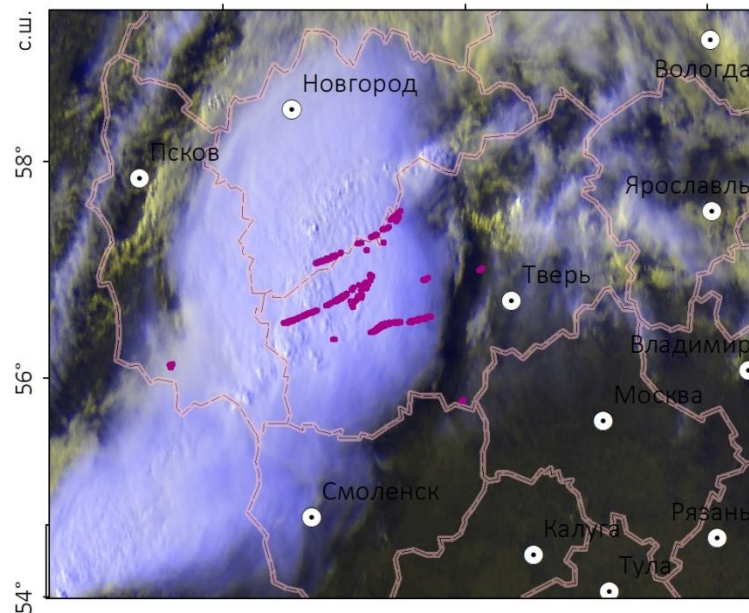
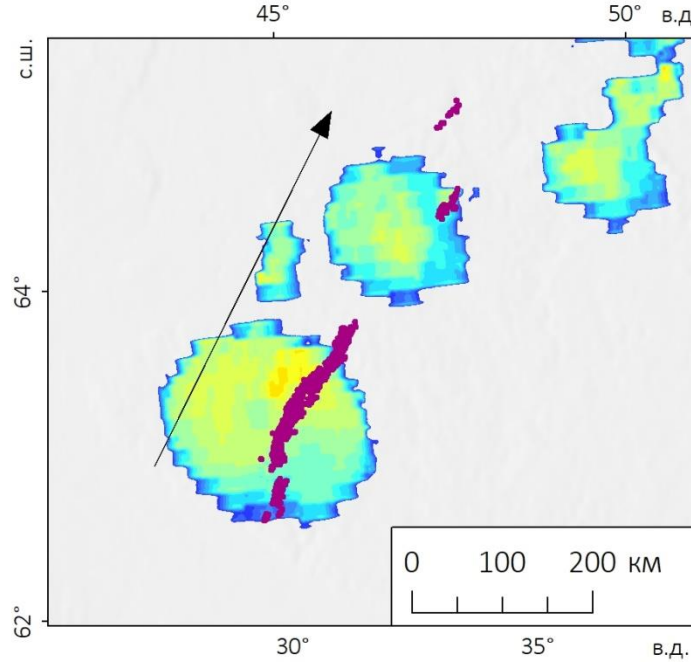
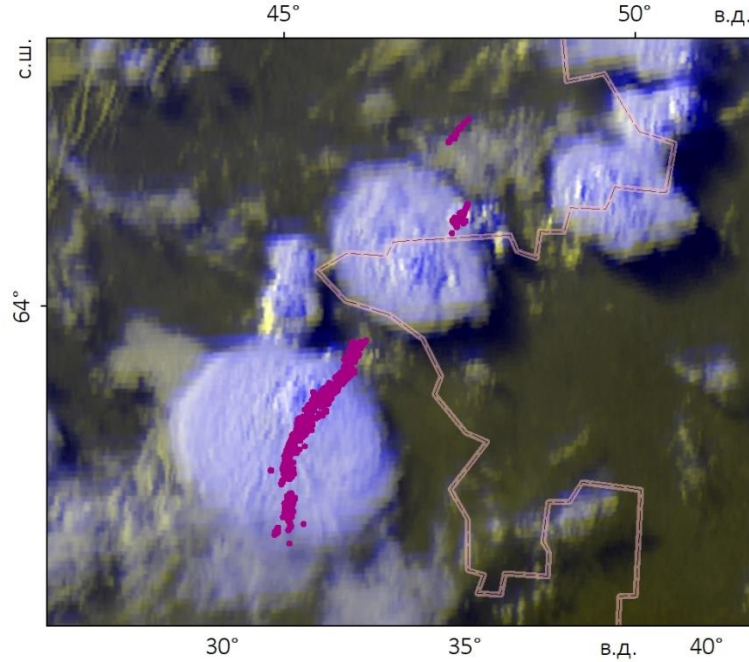




Выборка случаев  
долгоживущих штормов  
Длина полосы ветровалов  
более 100 км

на ЕТР 38 событий (3  
трансграничных), 309  
ветровалов,  $S = 258,1$  тыс. га  
в Сибири 10 событий, 87  
ветровалов,  $S = 62,42$  тыс. га



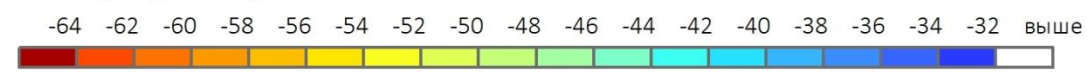


# Типы штормов:

1 – one-bow (progressive derecho), суперячейка

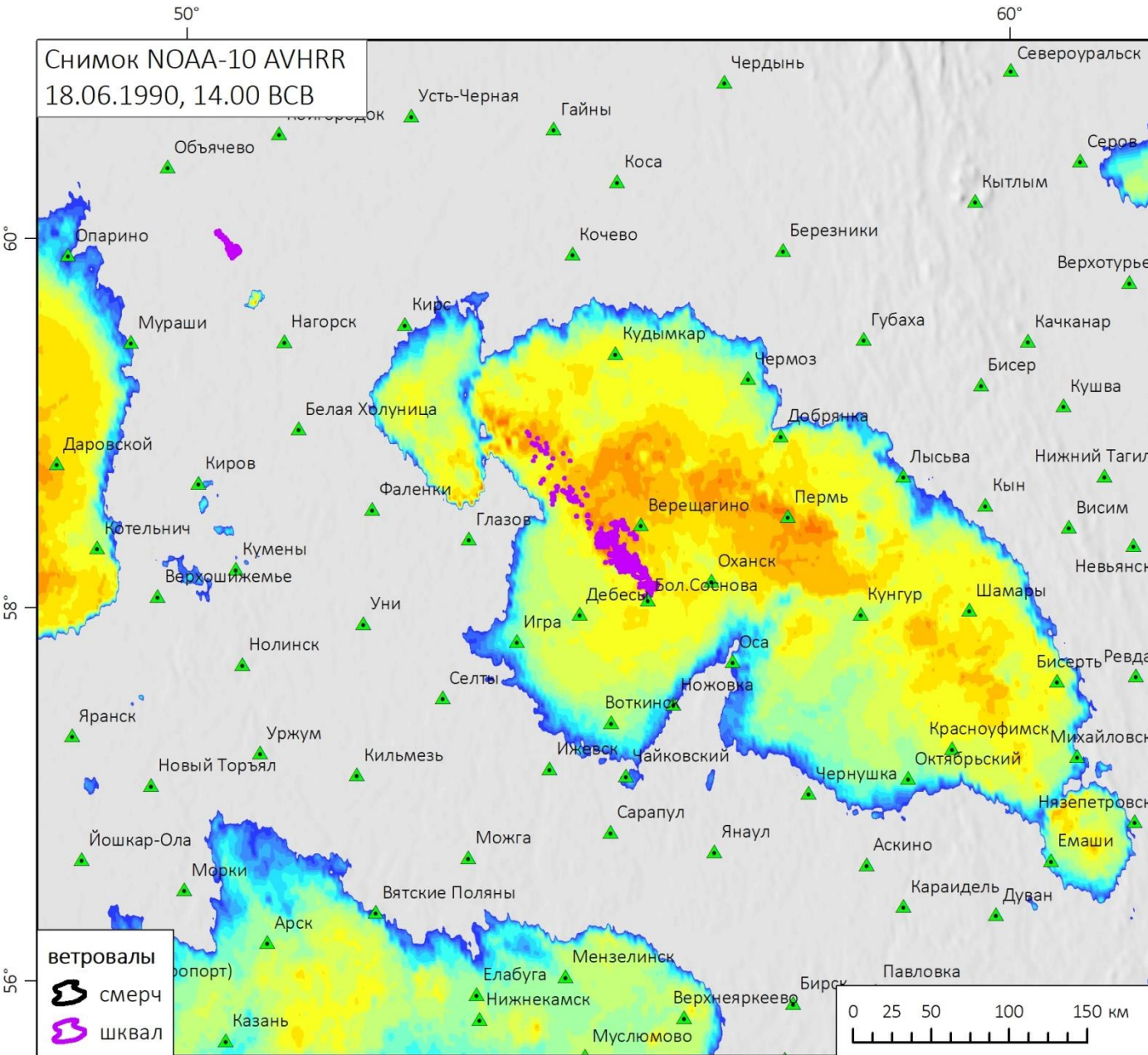
2 – QLCS (multi-bow, serial derecho) ЛИНИЯ ШКВАЛОВ

Температура ВГО, °С





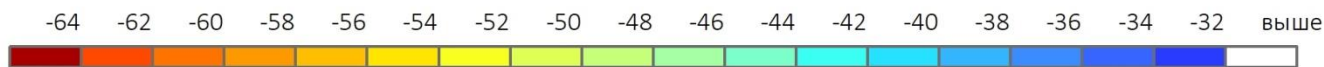
Снимок NOAA-10 AVHRR  
18.06.1990, 14.00 BCV

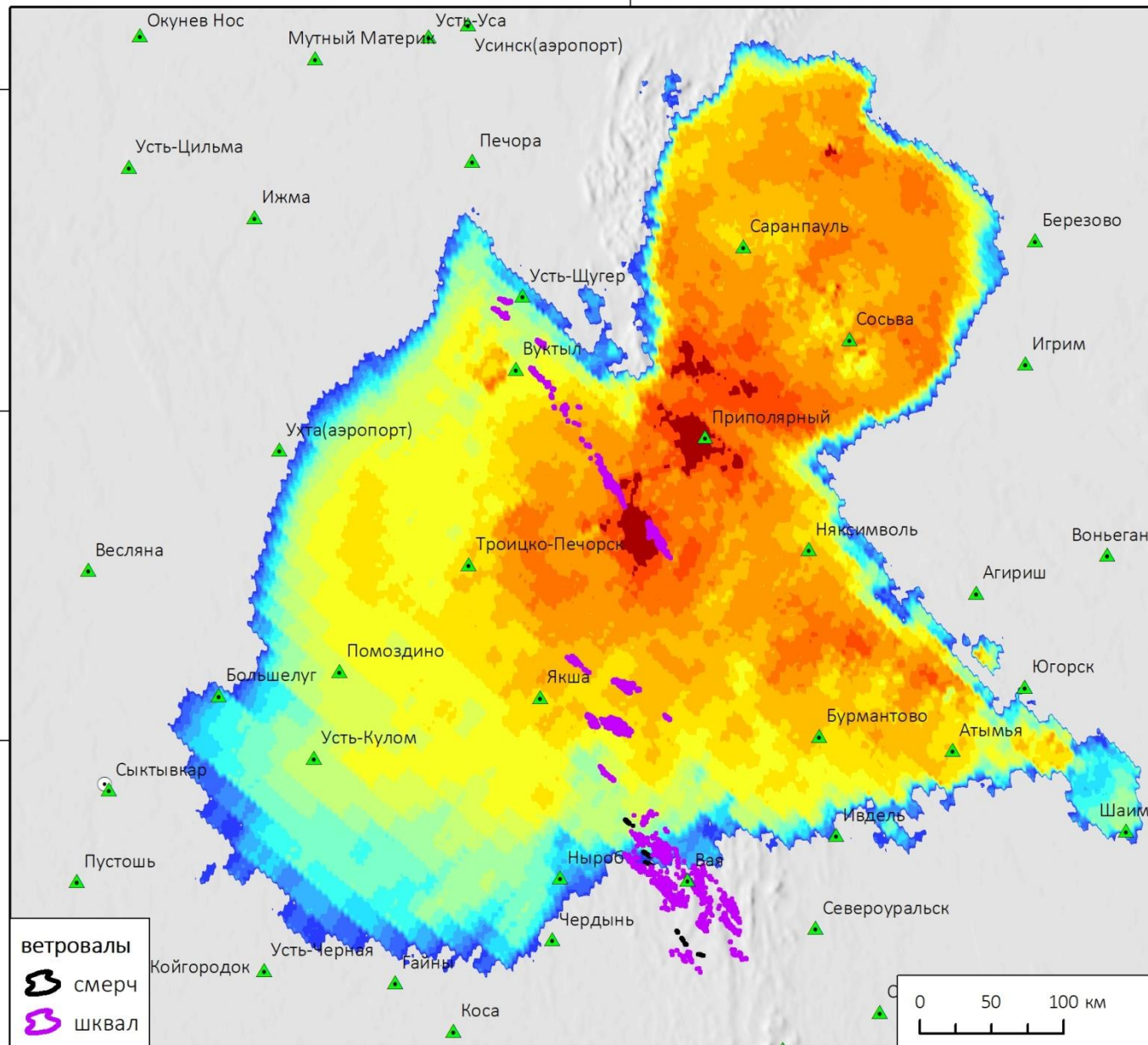


Исторические  
снимки  
конвективных  
штормов,  
вызвавших  
долгоживущие  
шквалы  
со спутников  
NOAA (сенсор  
AVHRR)

18.06.1990,  
Пермский край

Температура ВГО, С

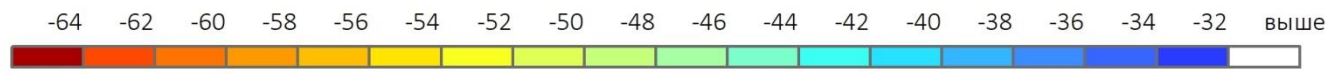




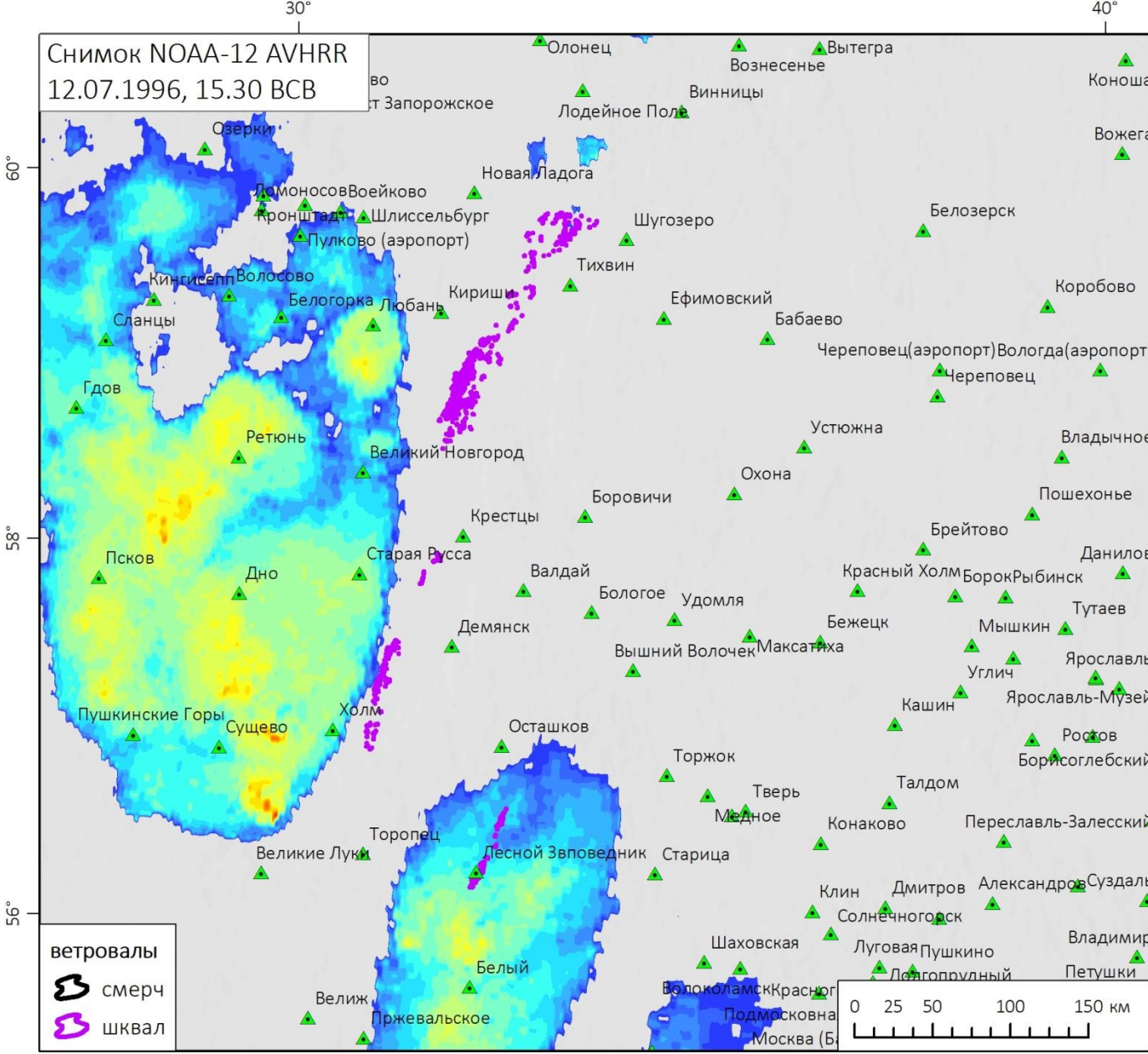
Исторические снимки конвективных штормов, вызвавших долгоживущие шквалы со спутников NOAA (сенсор AVHRR)

30.06.1993, Республика Коми

Температура ВГО, С



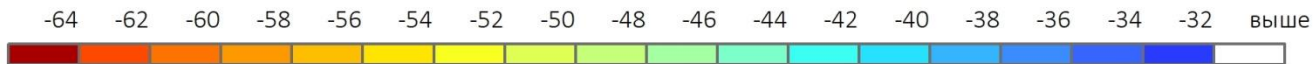
Снимок NOAA-12 AVHRR  
12.07.1996, 15.30 ВСВ



Исторические  
снимки  
конвективных  
штормов,  
вызвавших  
долгоживущие  
шквалы  
со спутников  
NOAA (сенсор  
AVHRR)

12.07.1996,  
Новгородская  
область

Температура ВГО, С

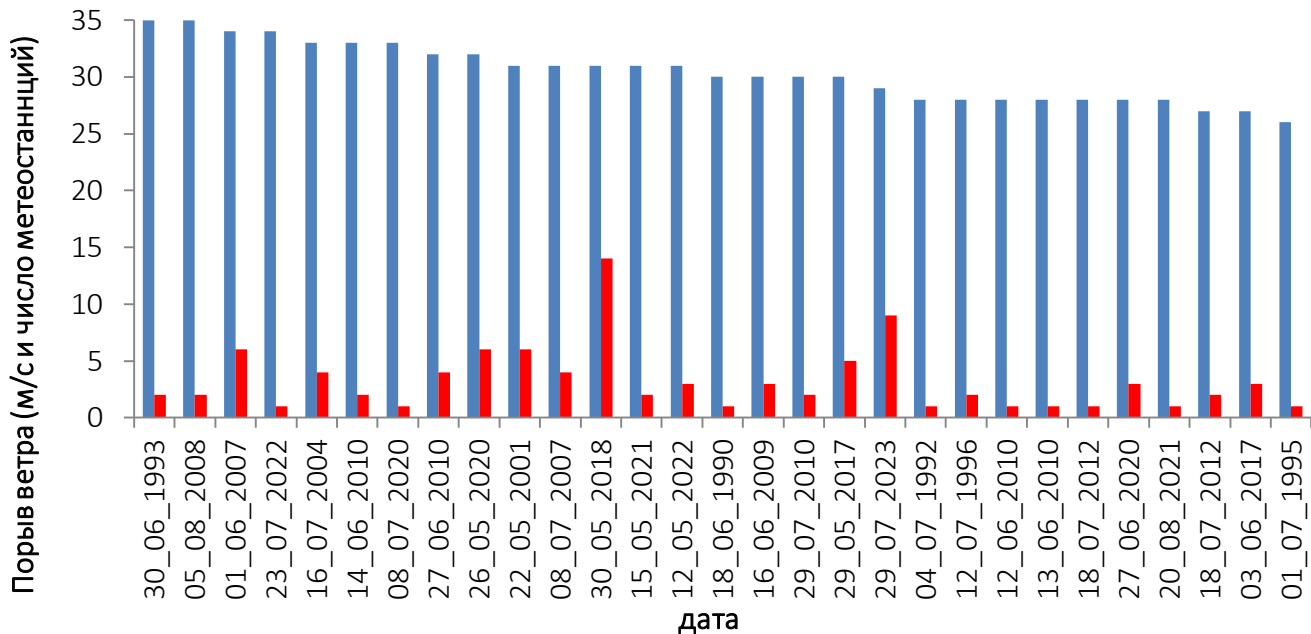


# Характеристики ветровалов

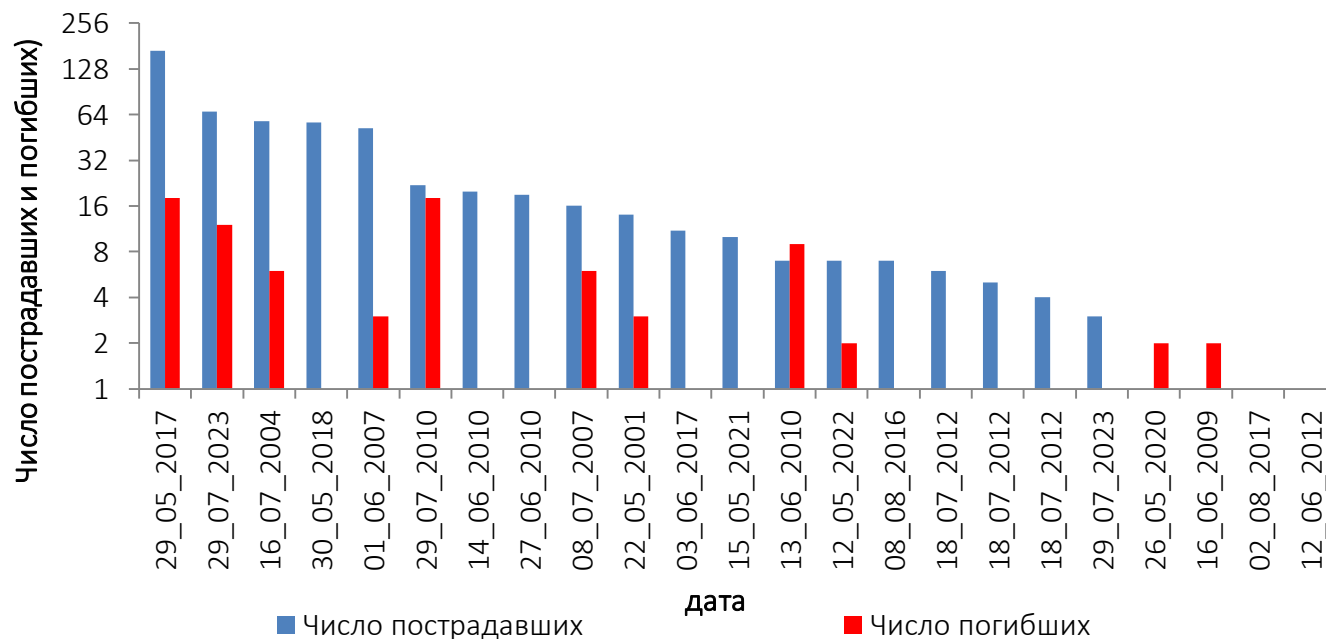
(выделены случаи, соответствующие критерию деречо)

Дата	<u>Общая площадь ветровалов, км<sup>2</sup></u>	<u>Число шкваловых ветровалов</u>	<u>Число смерчевых ветровалов</u>	<u>Общая протяженность, км</u>
29.07.2010	<u>755.48</u>	<u>0</u>	<u>4</u>	<u>622</u>
27.06.2010	<u>506.52</u>	<u>2</u>	<u>7</u>	<u>739.3</u>
23.07.2022	243.9	0	1	182.6
15.05.2021	148.9	1	6	349.1
16.06.2009	131.97	10	11	297.1
16.07.2004	<u>110.81</u>	<u>0</u>	<u>7</u>	<u>447.2</u>
18.07.2012	<u>109.68</u>	<u>18</u>	<u>14</u>	<u>445.5</u>
18.07.2012	109.52	27	13	362
07.06.2009	68.198	5	2	108.9
18.08.2008	67.6547	0	1	106.6
26.05.2020	65	5	12	527
04.07.1992	63.04	0	2	243.6
08.07.2020	57.4	1	3	317
12.06.2010	51.7	9	7	379
12.07.1996	49.42	0	3	349.5
<u>14.06.2010</u>	<u>47.4</u>	<u>5</u>	<u>11</u>	<u>769.5</u>
<u>01.06.2007</u>	<u>29.7</u>	<u>3</u>	<u>0</u>	<u>265,6</u>

Порывы ветра по  
данным  
метеостанций  
(случаи со  
шквалами  
25 м/с и более)



■ Максимальный порыв ветра, м/с ■ Число метеостанций с порывами ветра 25 м/с и более



■ Число пострадавших ■ Число погибших

Погибшие и  
пострадавшие

# Некоторые характеристики ущерба

Дата	Регион	Число сообщений об ущербе в ESWD	Число поврежденных зданий	Число обесточенных потребителей, тыс.	Оценка экономического ущерба, млн. долл.
22.05.2001	Пермский край	9			1.89
16.07.2004	Иркутская область	0		170	34.4
<u>01.06.2007</u>	<u>Башкортостан, г. Бирск</u>	<u>5</u>	<u>9100</u>		17.4
<u>08.07.2007</u>	<u>г. Казань</u>		<u>2960</u>		38.86
<u>13.06.2010</u>	<u>ЦФО, Нижегородская область</u>	<u>28</u>		<u>330</u>	
14.06.2010	Тобольск	4	238		1.59
27.06.2010	Ярославская, Вологодская области	11			3.12
29.07.2010	СЗФО, Финляндия	27			<u>92.78</u>
18.07.2012	Коми-Пермяцкий АО	2	150	168	
18.07.2012	восток Пермского края	1	80	40	1
29.05.2017	Москва	169	240	44	
03.06.2017	Нижний Тагил	140	223	100	8.62
30.05.2018	Приволжский ФО	22		285	
26.05.2020	Кемеровская область	63	147		
14.07.2020	Рязанская область	34	28	60	
<u>15.05.2021</u>	<u>Ивановская, Костромская области</u>	<u>298</u>	<u>440</u>	<u>86</u>	
12.05.2022	Беларусь, Брянская и Калужская области	155	636		
29.07.2023	Приволжский ФО	194		86	

# Композитные конвективные параметры

(условия возникновения штормов и их прогнозируемость)

$$MLWMAXSHEAR = (2MLCAPE)^{0.5} DLS$$

где  $WMAX = (2MLCAPE)^{0.5}$  – вертикальная скорость,  $MLCAPE$  – доступная потенциальная энергия неустойчивости, рассчитанная для перемешанного слоя от земли до 1000 м,  $DLS$  – сдвиг ветра в слое 0 – 6 км.

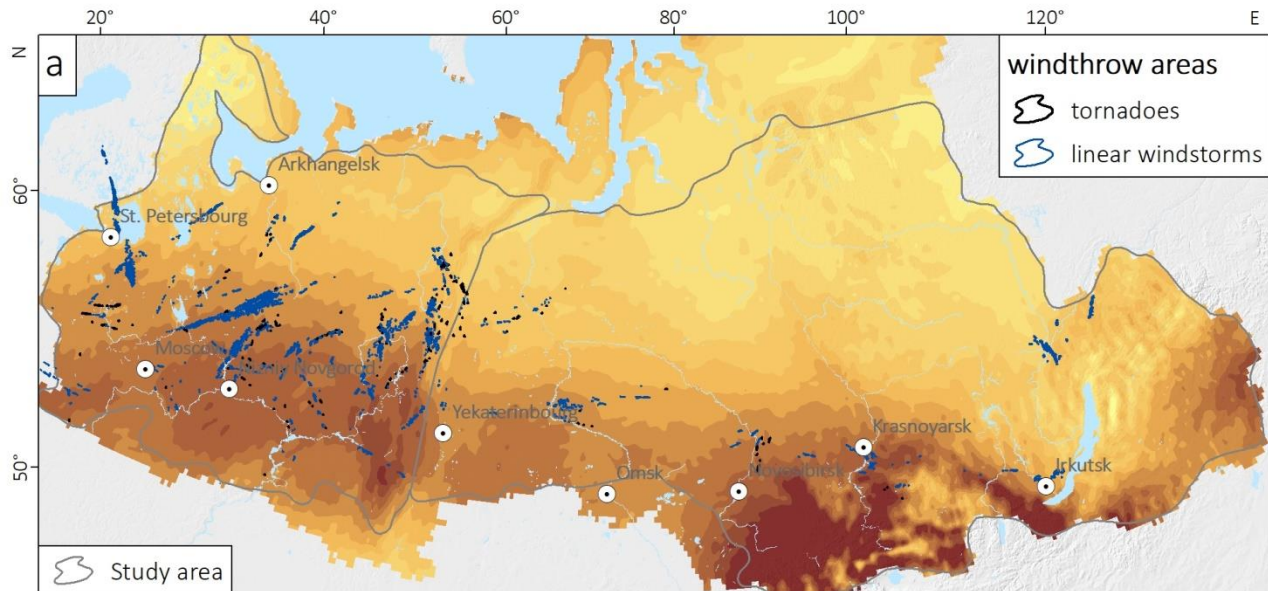
$$SCP = \left( \frac{MUCAPE}{1000 \text{ Jkg}^{-1}} \right) \left( \frac{SRH_{0-3 \text{ km}}}{100 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}} \right) \left( \frac{DLS^2}{40 \text{ m}^2 \text{ s}^2} \right)$$

где  $MUCAPE$  – потенциальная энергия неустойчивости, рассчитанная для наиболее неустойчивого слоя,  $SRH_{0-3 \text{ km}}$  – относительная спиральность в нижнем 3-км слое.

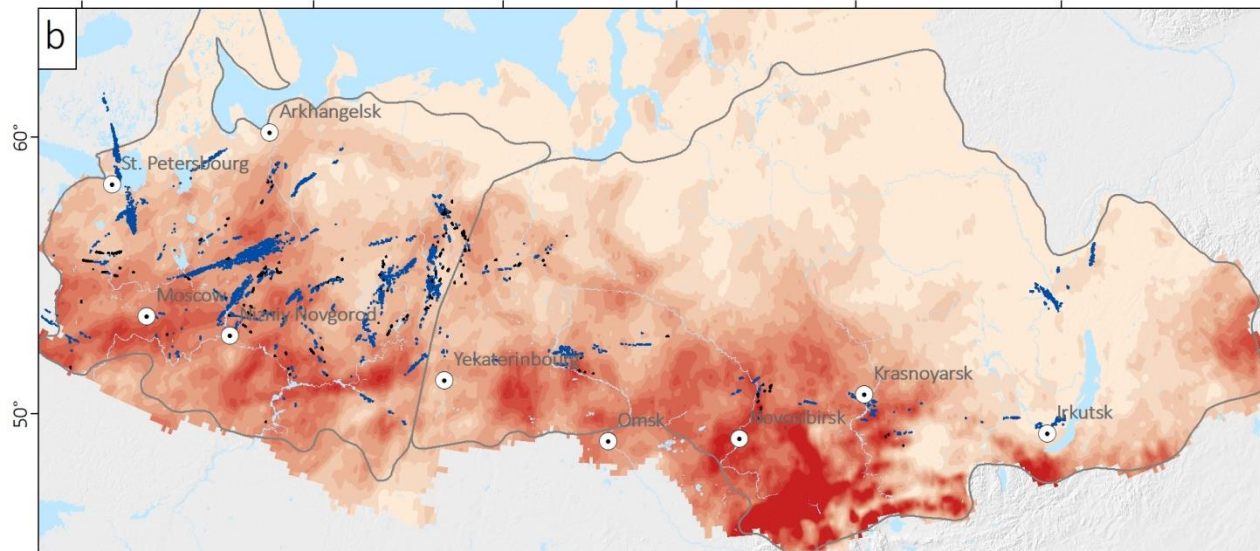
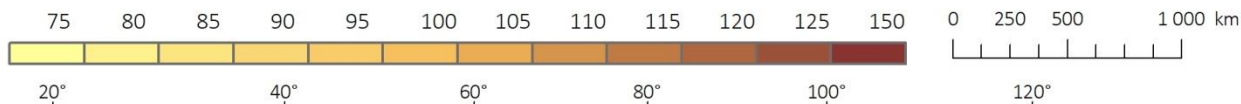
$$STP = \left( \frac{DLS}{20} \right) \left( \frac{SRH_{0-1 \text{ km}}}{150} \right) \left( \frac{SBCAPE}{1500} \right) \left( \frac{2000 - SBLCL}{1000} \right) \left( \frac{200 + SBCIN}{150} \right)$$

(3)

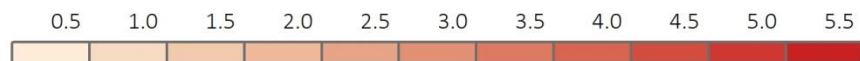
где  $SRH_{0-1 \text{ km}}$  – относительная спиральность в нижнем 1-км слое,  $SBCAPE$  – доступная потенциальная энергия неустойчивости для частицы, поднимающейся от поверхности земли,  $SBLCL$  – уровень конденсации,  $SBCIN$  – энергия противодействия конвекции.



Mean ML WMAXSHEAR values in summer



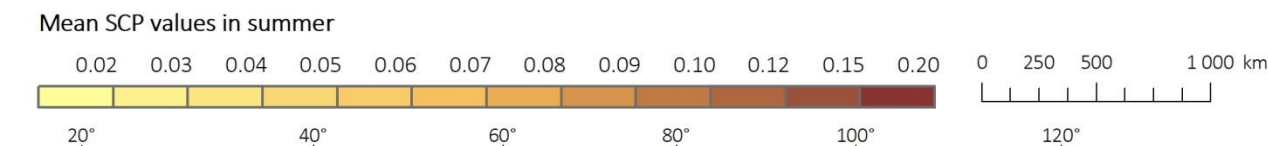
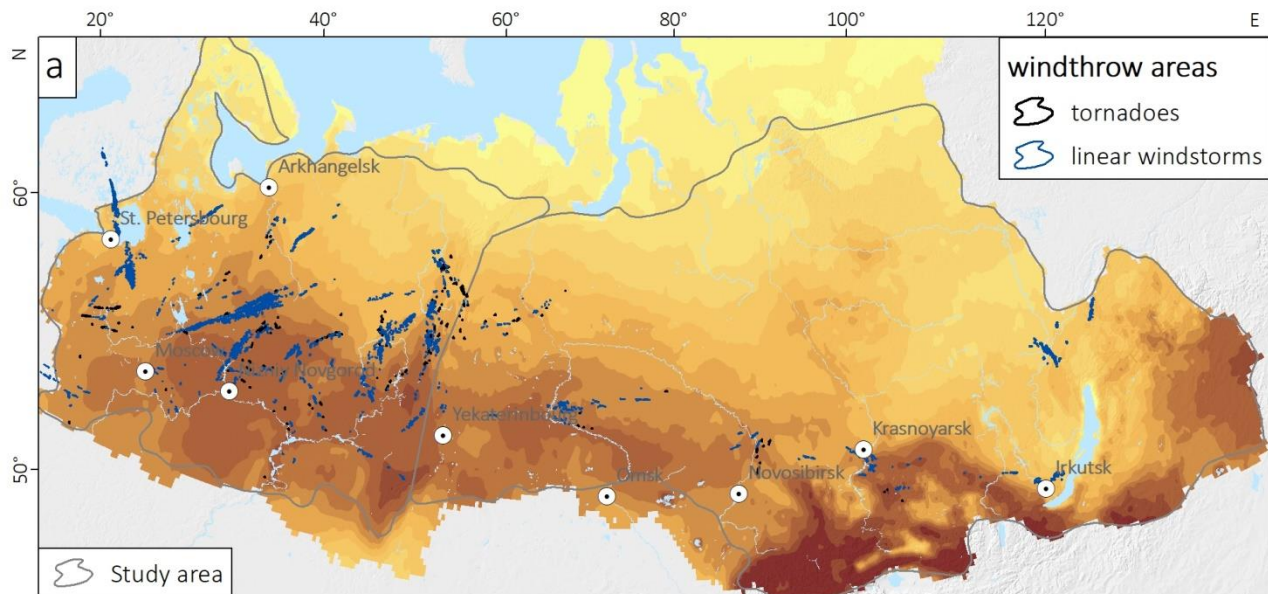
Frequency of over critical ML WMAXSHEAR values in summer, hours



Пространственное распределение конвективного параметра ML WMAXSHEAR и долгоживущих шквалов в лесной зоне России:

- а) – осредненное значение за летний период в 2001-2020 гг.,  
 б) – число дней со значениями выше критического уровня





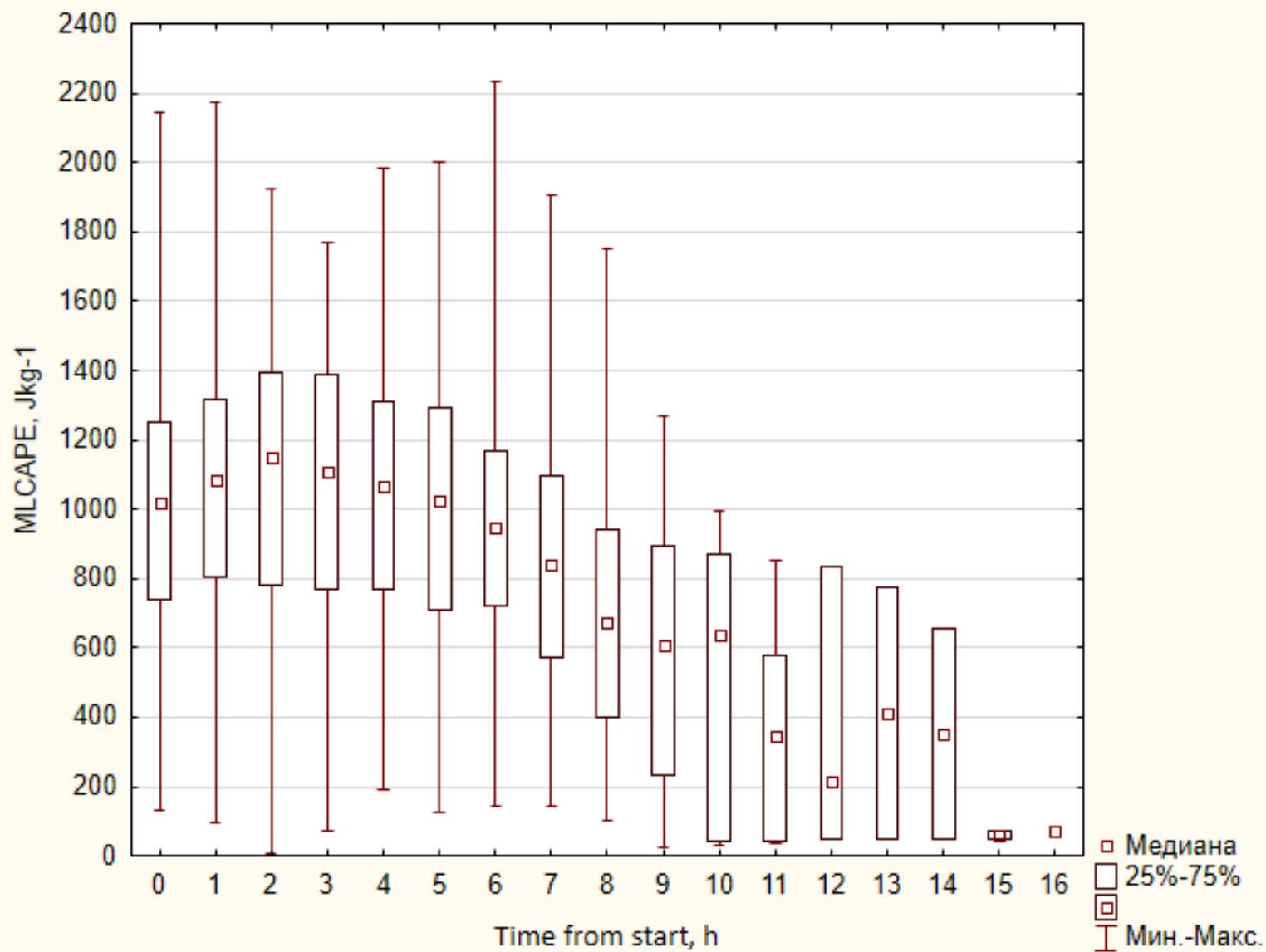
Пространственное распределение конвективного параметра SCP и долгоживущих шквалов в лесной зоне России:

а) – осредненное значение за летний период в 2001-2020 гг.,

б) – число дней со значениями выше критического уровня

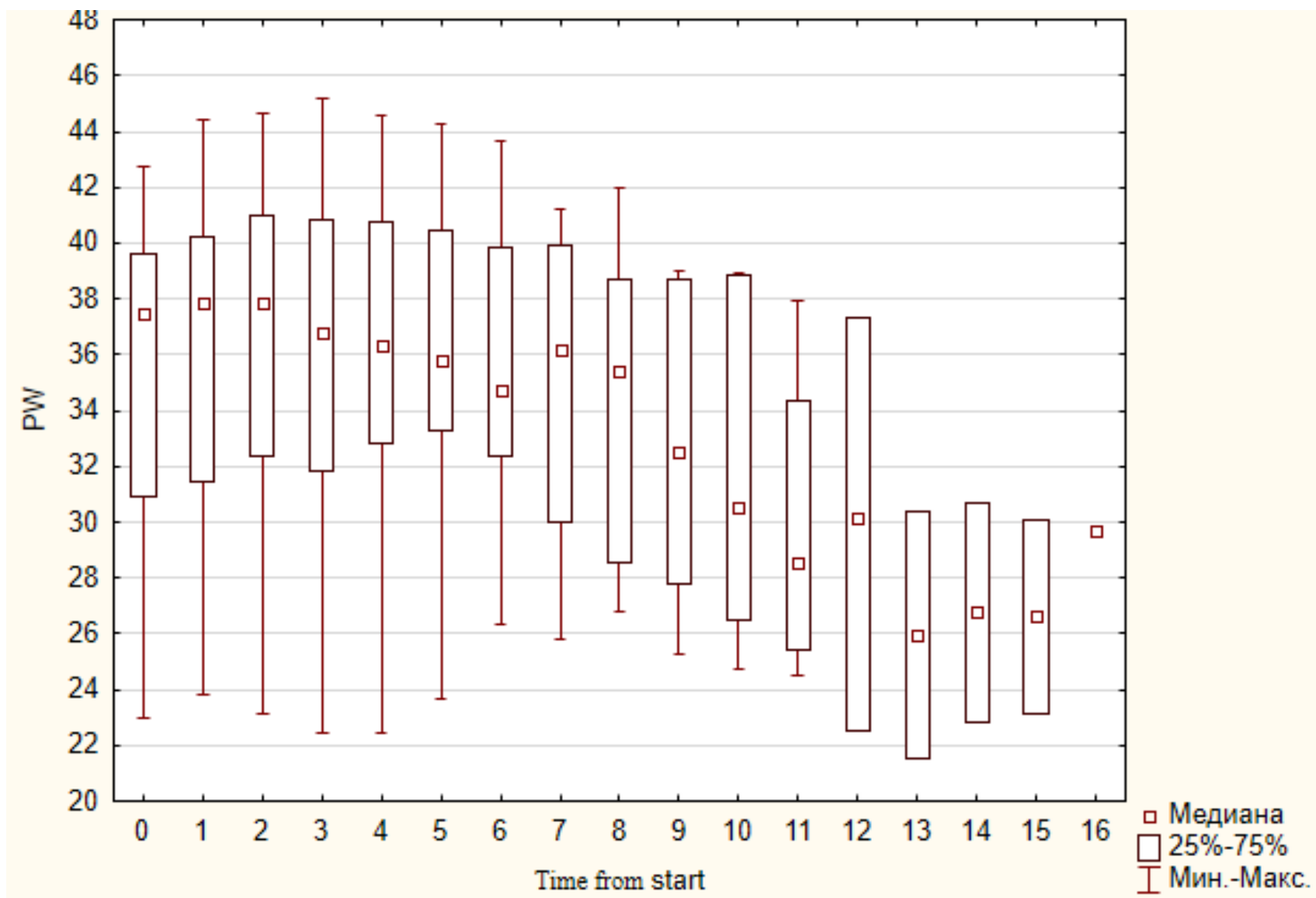
# Конвективные параметры – динамика во времени

## ML CAPE



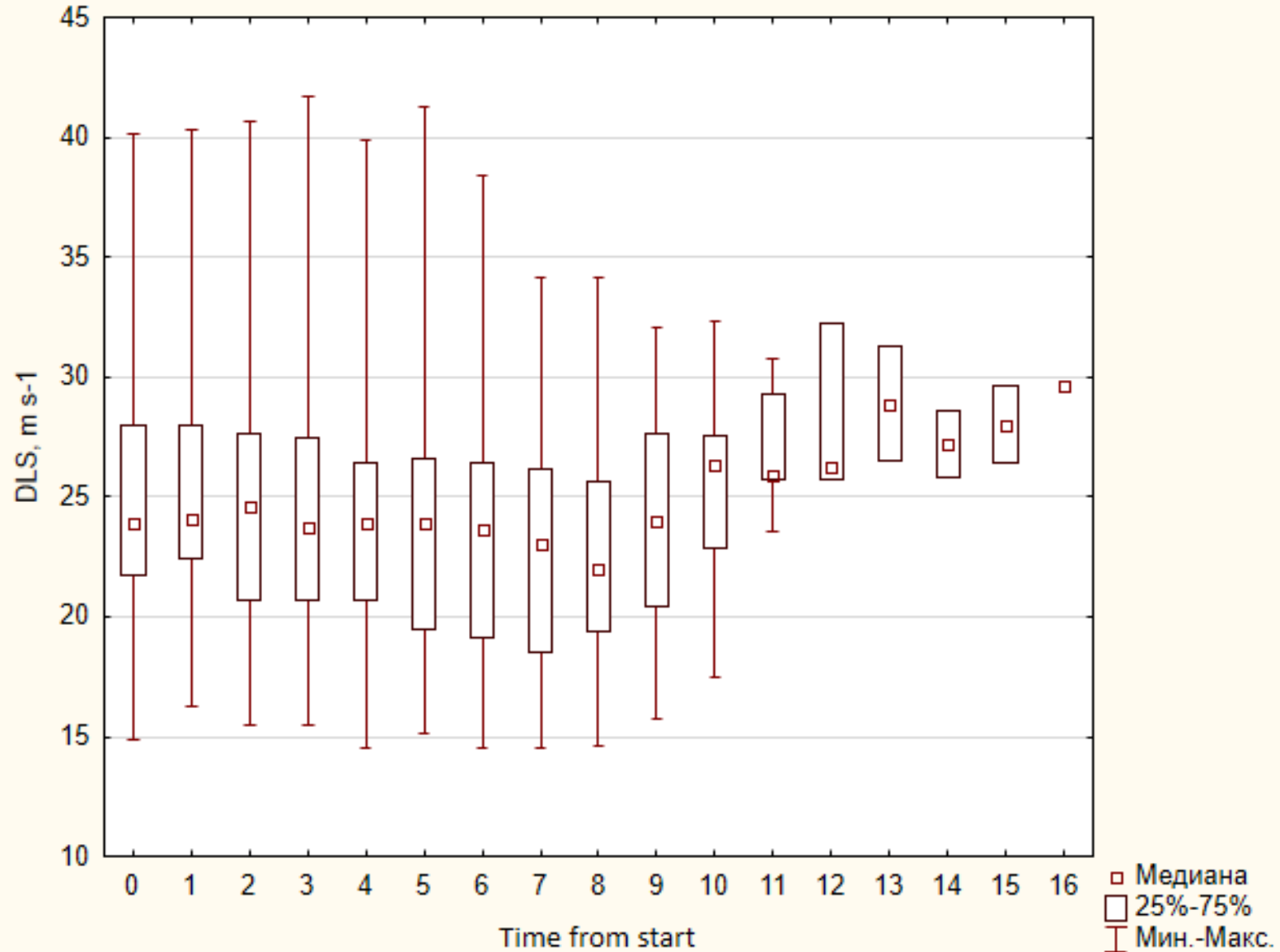
# Конвективные параметры – динамика во времени

## Общее влагосодержание (PW)



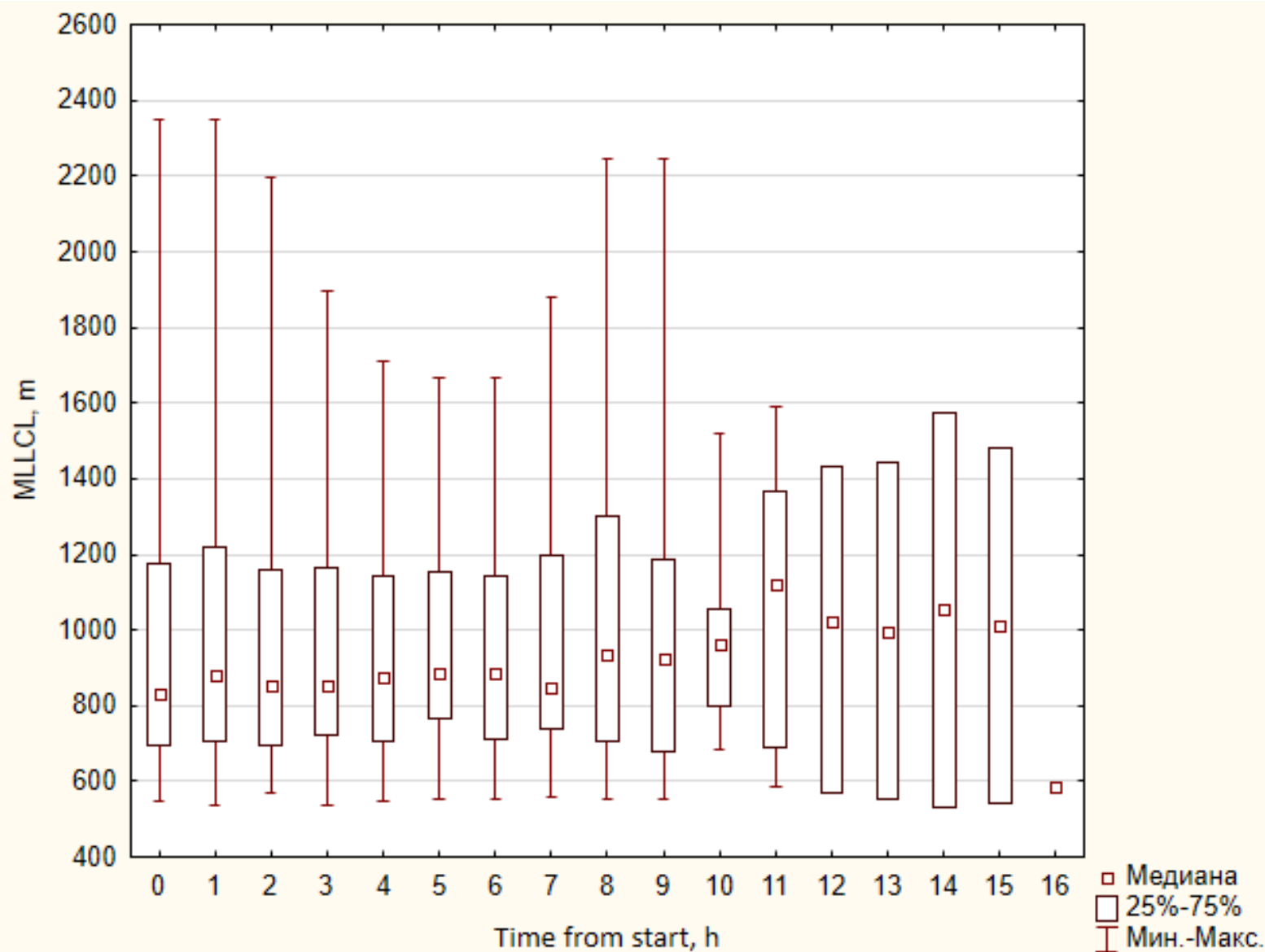
# Конвективные параметры – динамика во времени

## Сдвиг ветра в слое 0-6 км (DLS)



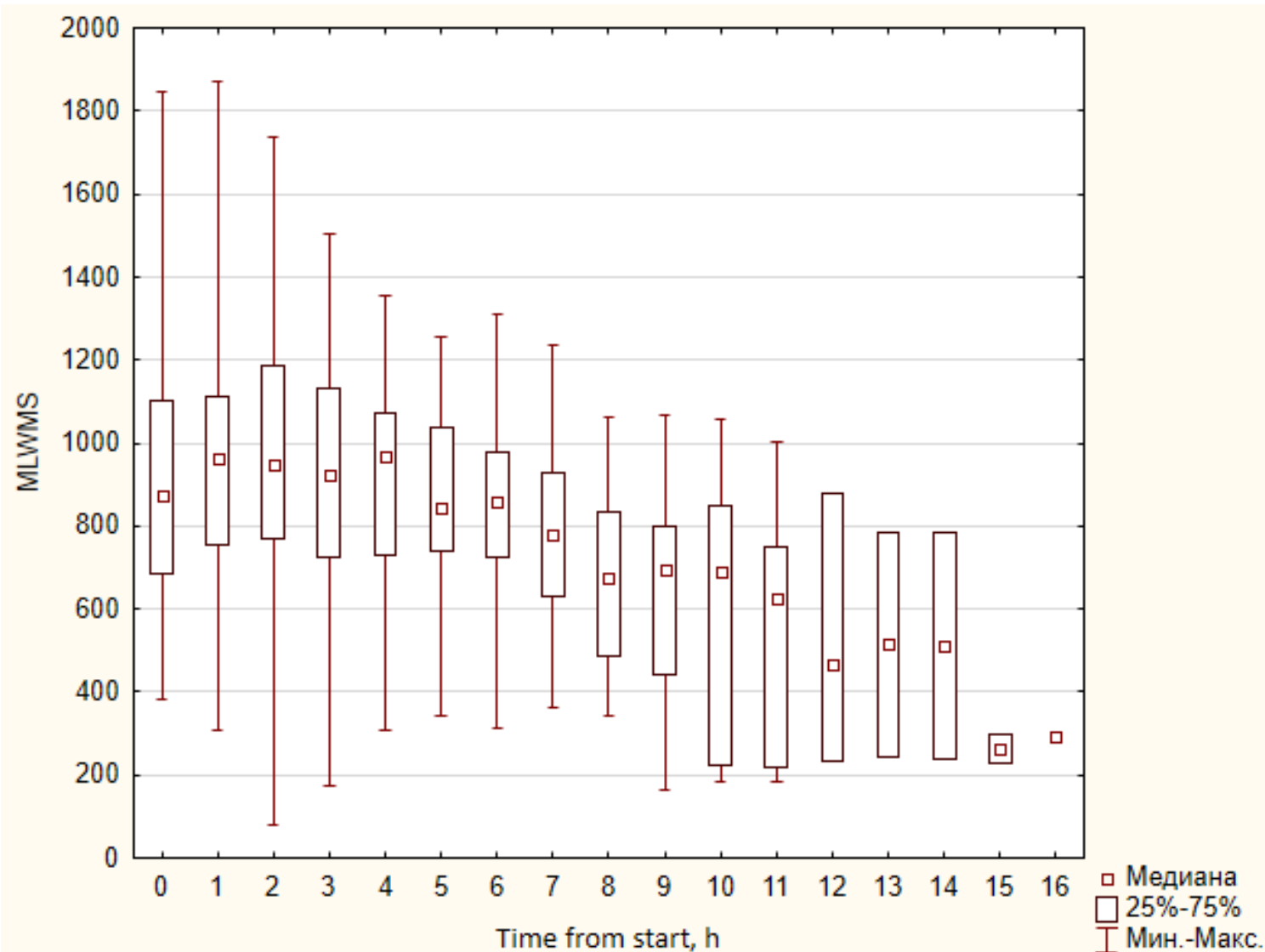
# Конвективные параметры – динамика во времени

## Уровень конденсации (LCL)



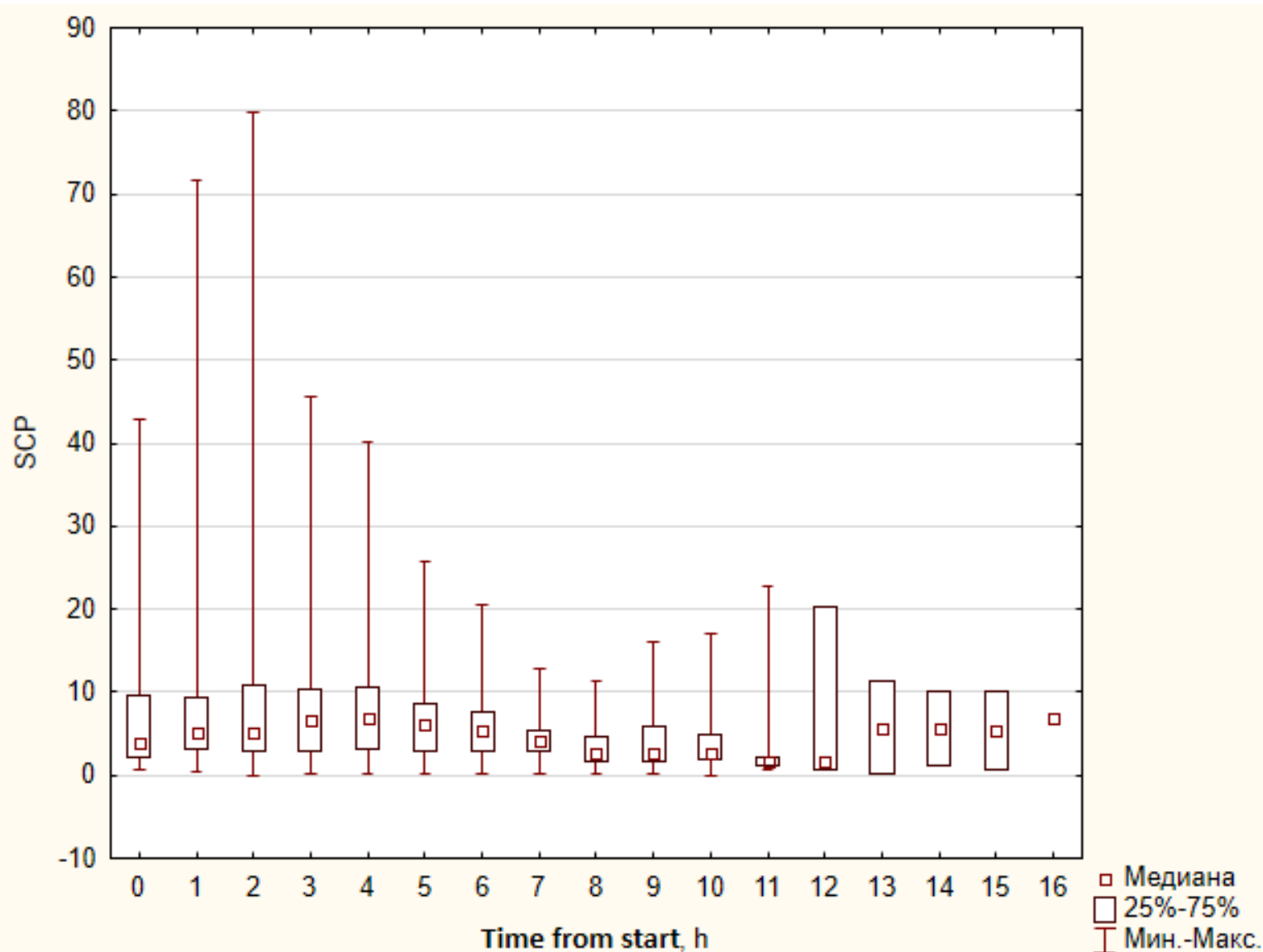
# Конвективные параметры – динамика во времени

## композитный параметр ML WMAXSHEAR (CAPE и сдвиг ветра в слое 0-6 км)



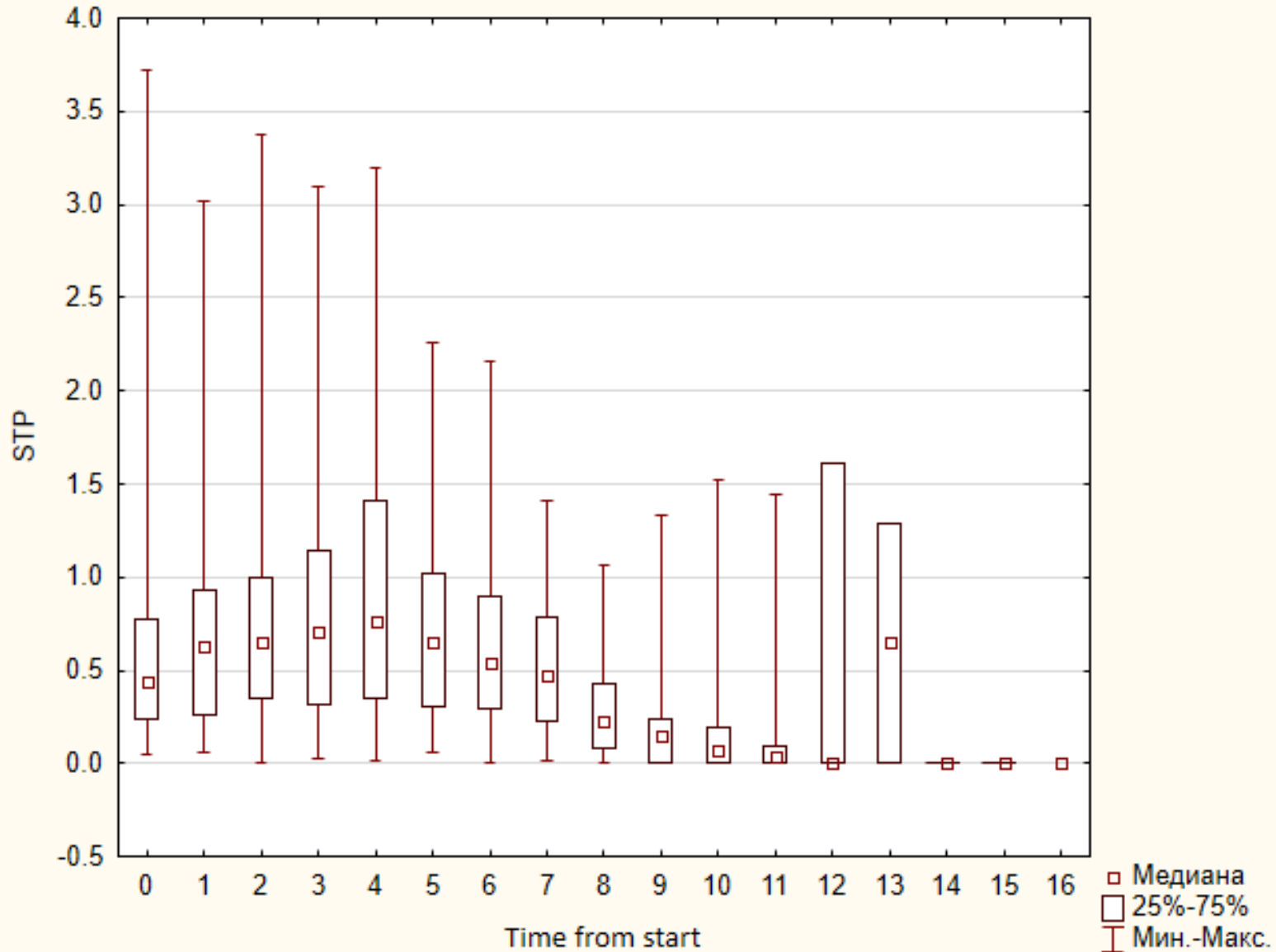
# Конвективные параметры – динамика во времени

## Композитный параметр суперячеек SCP



# Конвективные параметры – динамика во времени

## параметр значительного торнадо STP





# Заключение

- Сформирована выборка случаев долгоживущих сильных шквалов в лесной зоне России (для ЕТР с 1986 г., для Сибири с 2001 г.) – **48 случаев**
- Шесть случаев предварительно соответствуют критерию деречо
- Большинство случаев связано с движениям МКК или суперячеек вдоль фронта, с одной выраженной полосой разрушений (progressive storm).
- На ЕТР случаи долгоживущих штормов в основном отмечались севернее максимальной повторяемости закритических значений ML WMS, в Сибири – в ее пределах (за исключением гор).
- CAPE и ML WMS достигают максимума на 2-3 ч после формирования конвективного шторма
- Наивысшие значения конвективных параметров отмечались 26.05.2020 г. в Сибири (Кемеровская область). Они не всегда соответствуют наиболее разрушительным штормам.

Спасибо за внимание

Андрей Шихов, д.г.н,  
Пермский государственный университет  
e-mail: and3131@inbox.ru  
URL: <http://accident.perm.ru/>  
[https://t.me/weather\\_GIS\\_psu](https://t.me/weather_GIS_psu)