

# Картографическая база данных крупных ветровалов в лесной зоне Европейской части России по спутниковым данным Landsat

*А.Н. Шихов<sup>1</sup>, А.В. Чернокульский<sup>2</sup>, И.О. Ажигов<sup>3</sup>, А.В. Семакина<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Пермский ГНИУ, кафедра картографии и геоинформатики*

*<sup>2</sup> Институт физики атмосферы им А.М. Обухова РАН*

*<sup>3</sup> Пермский ГНИУ, кафедра метеорологии и охраны атмосферы*

*Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ*

*№ 19-05-00046-а*

# ПРОБЛЕМА

- Сильные ветра, шквалы и смерчи являются одним из важнейших естественных факторов нарушений лесного покрова бореальной зоны
- До настоящего времени были опубликованы лишь приблизительные оценки масштабов нарушений лесного покрова в России, вызванных этими явлениями (более детально – для отдельных регионов ЕТР и Урала)
- На территории Западной и Центральной Европы наблюдается рост масштабов ущерба от ветровалов, возможно связанный с изменением климата. Для территории России таких оценок нет

# ЗАДАЧИ РАБОТЫ

- Создать картографическую базу данных крупных ветровалов на Европейской территории России (ЕТР) за весь период работы съемочной системы Landsat, и опубликовать ее в открытом доступе
- Оценить масштабы воздействия ветровалов на лесной покров ЕТР, определить причины возникновения ветровалов
- Выявить многолетний тренд площади ветровалов за последние 30 лет.
- Дополнить климатологию сильных шквалов и смерчей на ЕТР

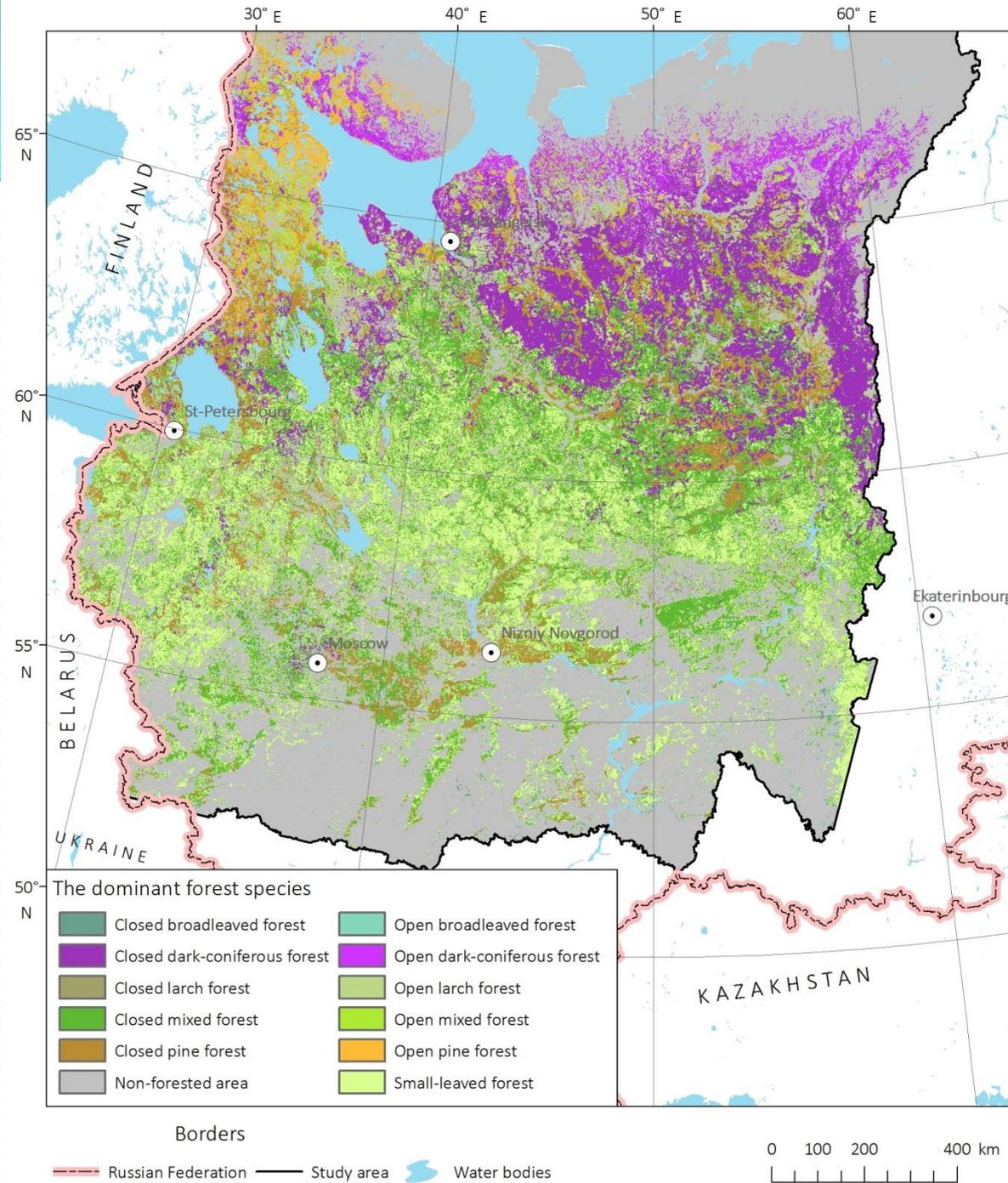
# ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

- Global Forest Change Map – данные о ежегодных изменениях лесного покрова Земли на основе многолетнего ряда снимков LANDSAT за период с 2000 по 2018 гг., с детальностью 30 м (Hansen et al., 2013)
- Eastern-Europe forest cover change (EEFCC) - данные о нарушениях лесного покрова за периоды 1986-1988 и 1989-2000 гг. на основе многолетнего ряда снимков LANDSAT (Potapov et al., 2015)
- Снимки LANDSAT TM, ETM+ и OLI и Sentinel-2 полученные с web-сервисов Геологической Службы США (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).
- Снимки сверхвысокого разрешения с открытых картографических сервисов Google.Maps, Yandex.Maps, Bing Maps, ESRI.
- Данные метеостанций за 2006-2017 гг., по реперным станциям – с 1986 г. . Всего 362 метеостанции. Источники - <http://aisori.meteo.ru/ClimateR>, <https://rp5.ru/>, <http://www.pogodaiklimat.ru/archive.php>)
- Карта лесов России (преобладающие породы и полнота насаждений), масштаб 1:14 000 000 (Bartalev et al., 2004) и карта GlobCover-2009 (Arino et al., 2008)

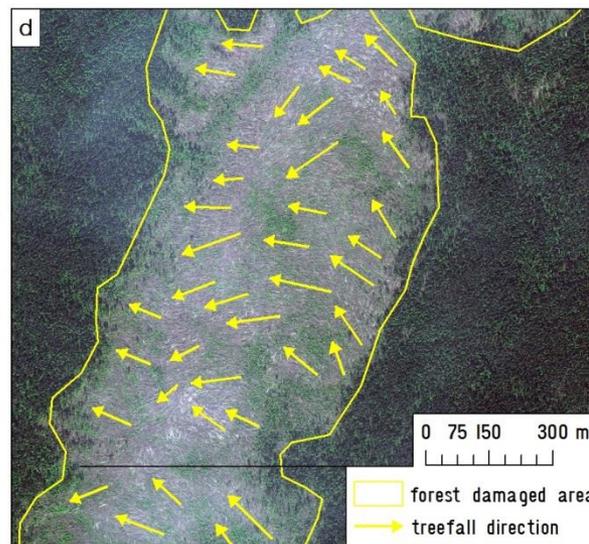
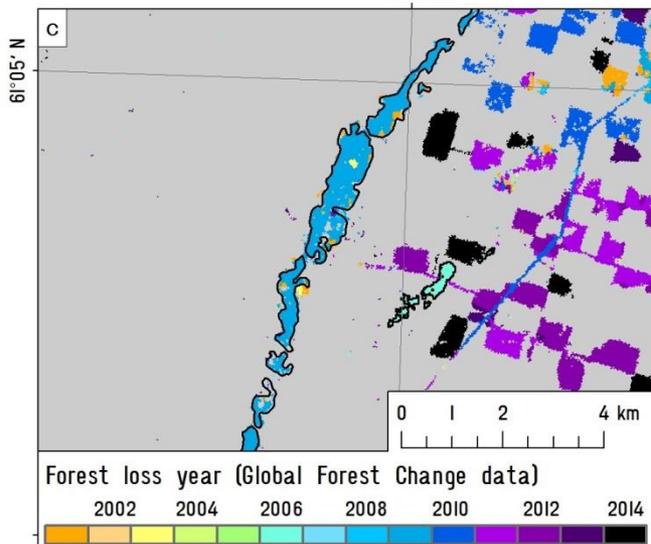
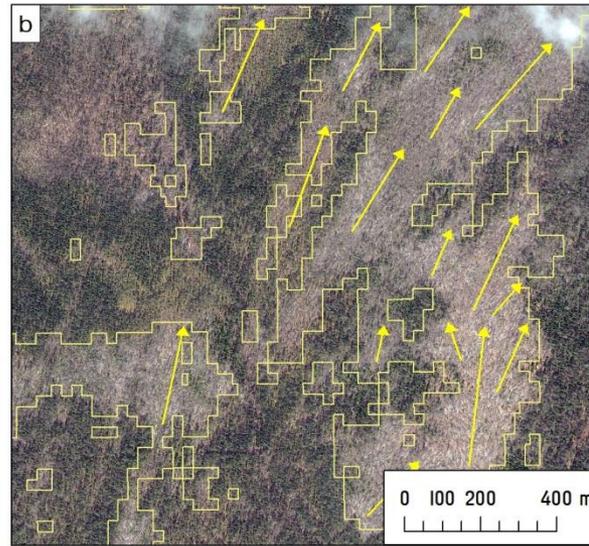
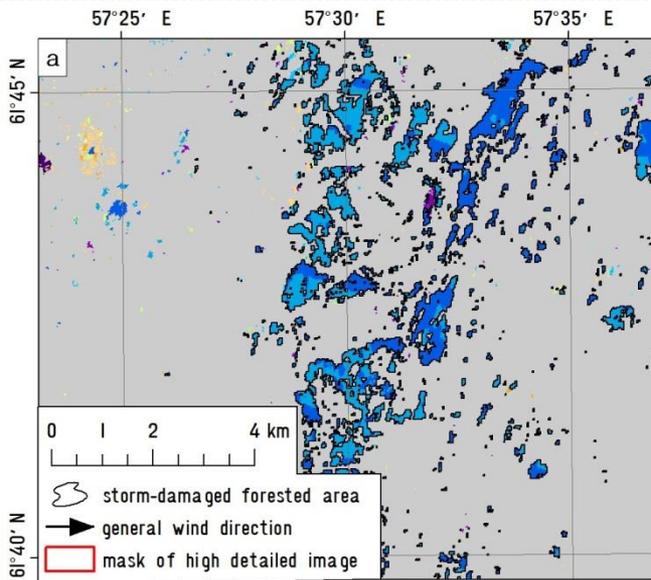
# ИЗУЧАЕМАЯ ТЕРРИТОРИЯ – ЛЕСНАЯ ЗОНА ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ

Средняя лесистость по  
карте (Барталев и др.,  
2004) – 55,6%.

Изменения по  
территории – от 10 до 90%  
и более



# ИДЕНТИФИКАЦИЯ ВЕТРОВАЛОВ ПО ДАННЫМ GFC



4 типа (причины возникновения) выделенных ветровалов:

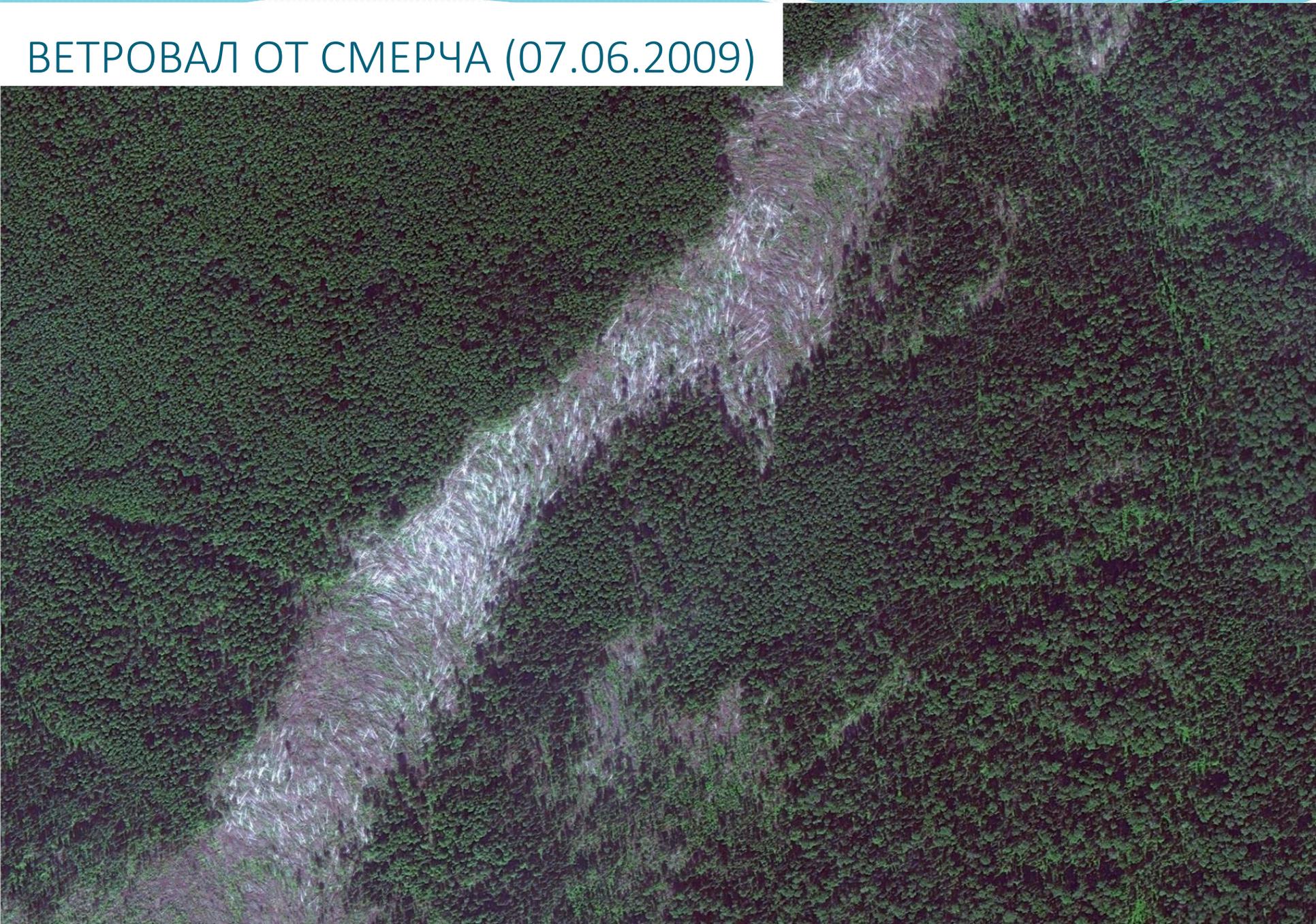
- Шквал ( $\geq 25$  га)
- Сильный ветер, шторм ( $\geq 25$  га)
- Снегопад ( $\geq 25$  га)
- Смерч ( $\geq 5$  га)

Примеры выделения ветровалов от шквалов и смерчей по данным GFC (7 июня 2009)

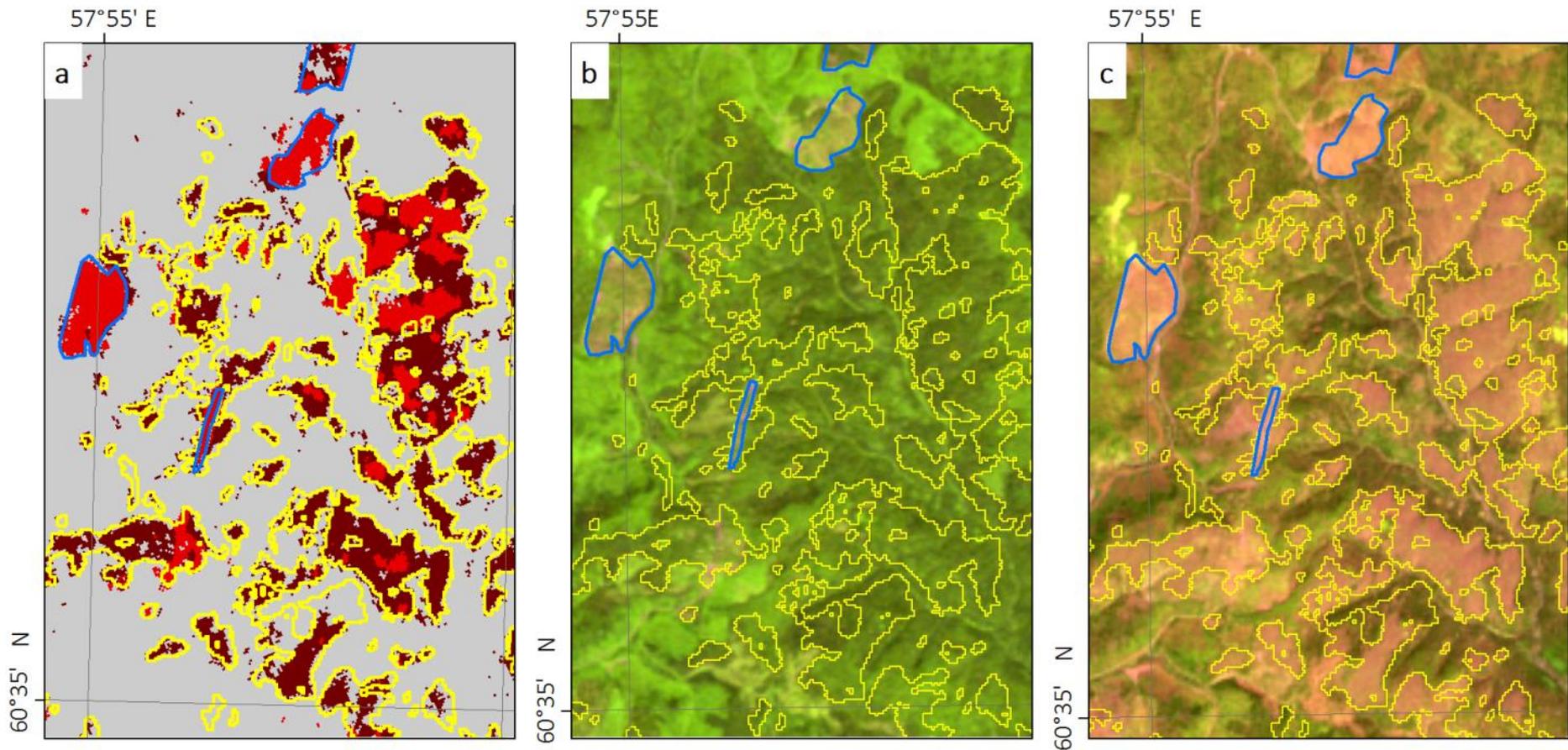
ВЕТРОВАЛ ОТ ШКВАЛА (15.06.2015)



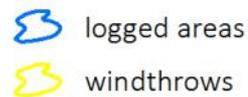
ВЕТРОВАЛ ОТ СМЕРЧА (07.06.2009)



# РАЗДЕЛЕНИЕ ВЫРУБОК И ВЕТРОВАЛОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ ПО ДАННЫМ GFC, НА ОСНОВЕ ДВУХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ СНИМКОВ LANDSAT



Forest Loss Year data

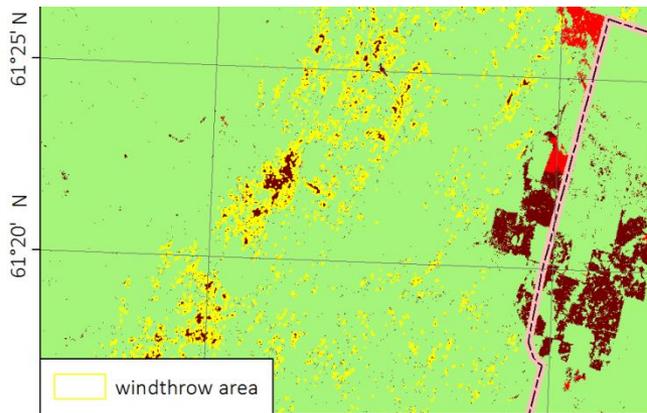


# ВЫДЕЛЕНИЕ ВЕТРОВАЛОВ ПО ДАННЫМ ЕЕФС (В РАЙОНАХ, НЕ ЗАТРОНУТЫХ ЛЕСОЗАГОТОВКАМИ)

56° E

56°20' E

Ветровал от шквала 04.07.1992 г.

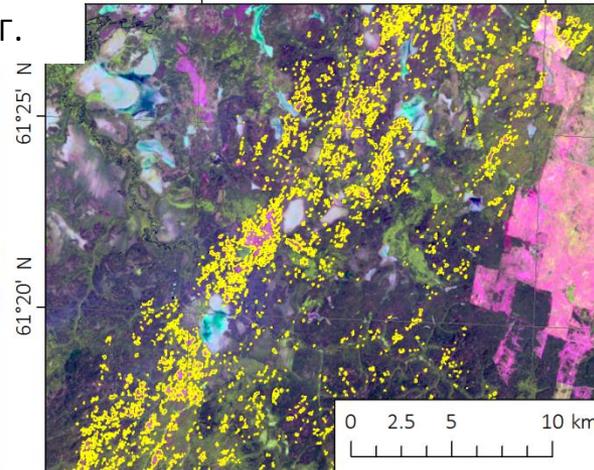


47°10' E

47°20' E

56° E

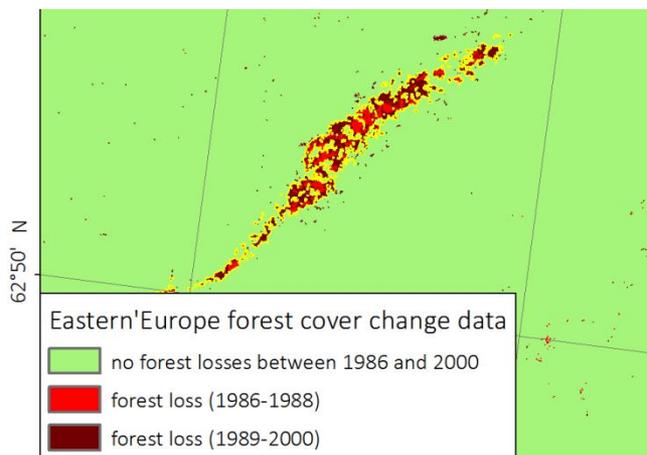
56°20' E



47°10' E

47°20' E

Ветровал от смерча 24.07.1988 г.



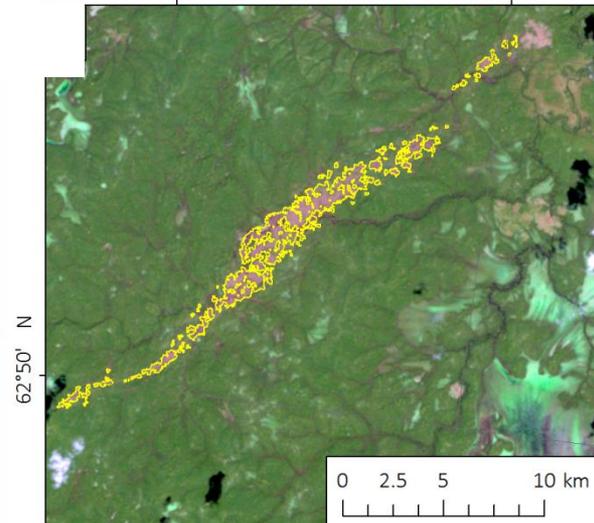
62°50' N

Eastern Europe forest cover change data

no forest losses between 1986 and 2000

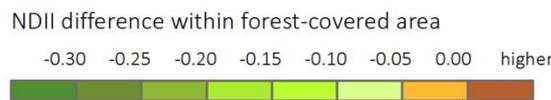
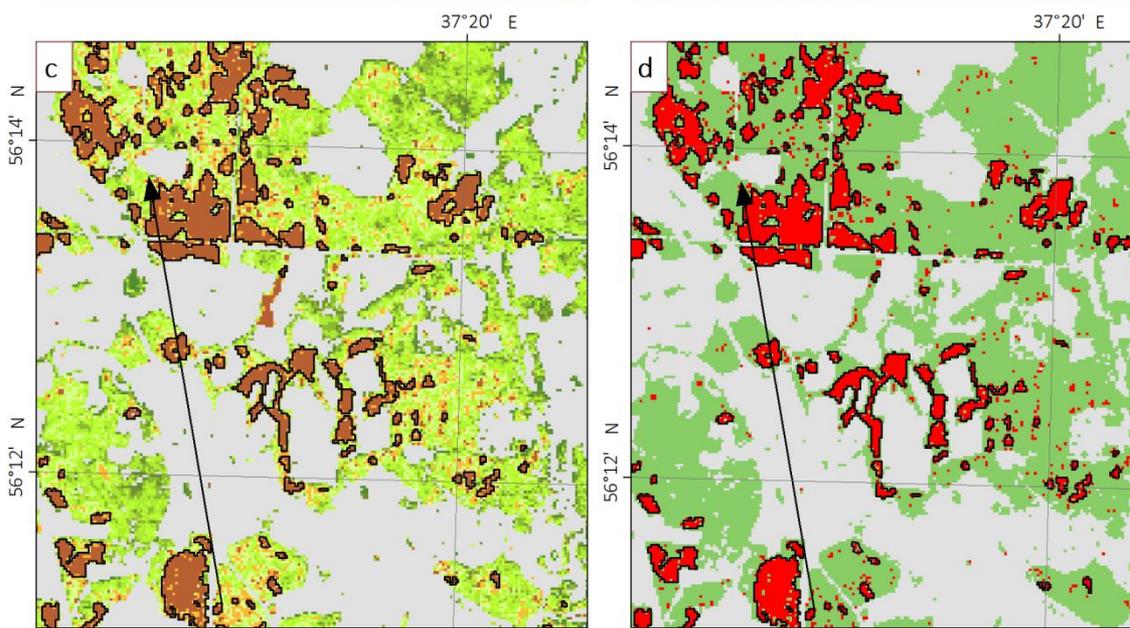
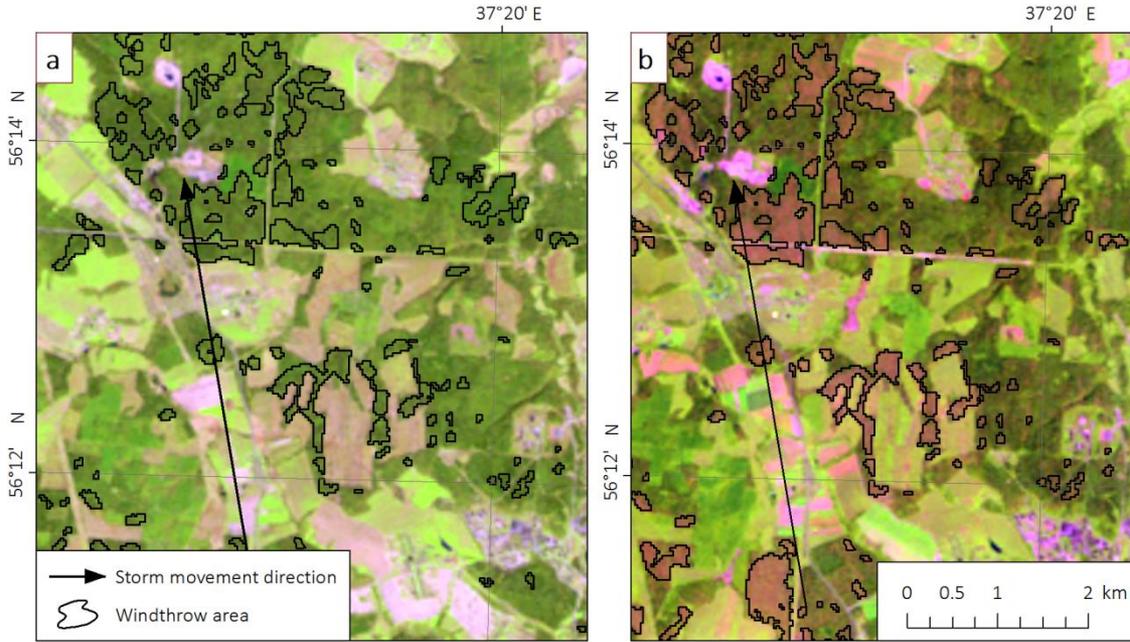
forest loss (1986-1988)

forest loss (1989-2000)



62°50' N

0 2.5 5 10 km



- Выделение ветровала в районе активного лесопользования по разновременным снимкам Landsat (на примере ветровала от шквала 21.06.1998 г. в Подмосковье)
- а – снимок до ветровала
- б – снимок после ветровала
- с – разность вегетационного индекса SWVI (NDII) до и после ветровала
- d – области со значительным изменением NDII (ветровалы)

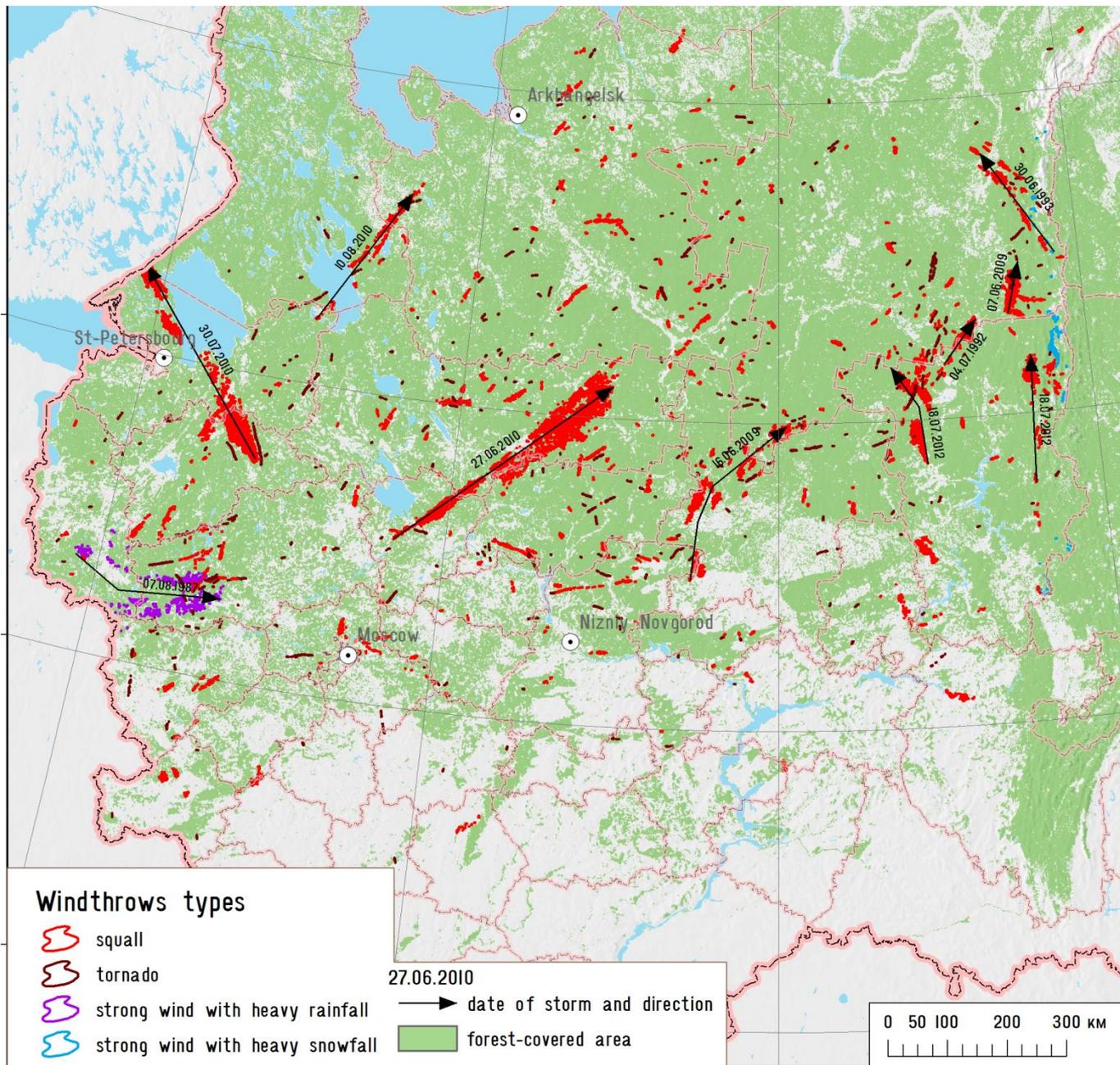
## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕТРОВАЛОВ ПО ПРИЧИНАМ ВОЗНИКНОВЕНИЯ, 1986-2017 ГГ.

Причина возникновения	Достоверность	Количество	Площадь, тыс. га
Шквал	Высокая (>90%)	273	240.3
	Средняя (67-90%)	24	7.6
Смерч	Высокая	295	30.4
	Средняя	92	8.1
Штормовой ветер	Высокая	5	8.9
Снегопад	Высокая	7	4.44
	Средняя	6	0.6

# СТРУКТУРА СОЗДАННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ

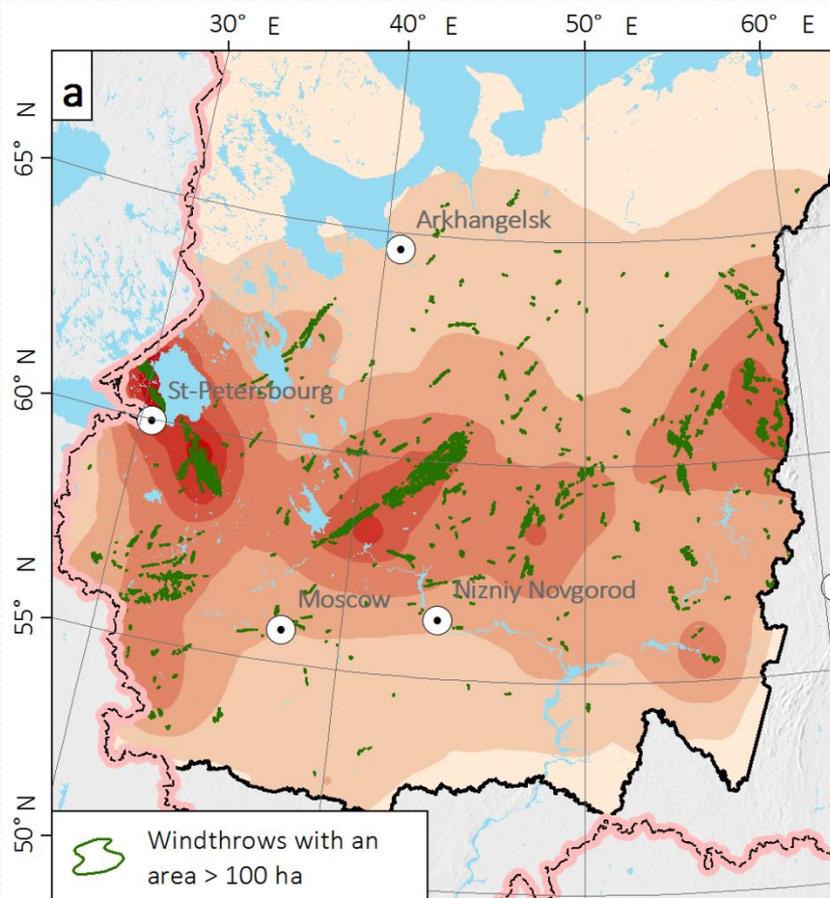
Field name	Field alias	Type, length	Description
OBJECTID	OBJECTID	Object ID	Index number
ID	ID	Short	Index number
Event_type	Event type	String, 10	Type (cause) of the windthrow event (squall, tornado, windstorm, snowstorm)
Confidence	Confidence	String, 20	Confidence of the event type determination (high, medium)
Date	Event date	String, 20	Date of the event, of year only (if date has not been determined)
Date_1	Date of first image	Date	Date of the last Landsat/Sentinel-2 image, where the windthrow has not been identified
Date_2	Date of second image	Date	Date of the first Landsat/Sentinel-2 image, where the windthrow has been identified
Year	Year	Short integer	Year of the windthrow event
Month	Month	Short integer	Month of the windthrow event
Area	Area (hectares)	Float	Area of the windthrows (hectares)
Length	Path length (km)	Float	Length of the windthrow path (track)
Mean_width	Mean width (m)	Float	Mean width of the windthrow path (damaged area only)
Max_width	Max width (m)	Float	Maximum width of the windthrow path (damaged area only)
Direction	Direction	String, 10	Direction of the windthrow (i.e. direction of storm movement)
Near_WS	WMO ID of the nearest WS	Long	WMO ID of the nearest weather station
WS_dist	Distance to WS (km)	Float	Distance to the nearest weather station (km)
Wind_gust	Wind gust (m/s)	short	Wind gust, measured by the weather station during a storm, which caused windthrow
Gust_time	Wind gust time (UTC)	short	Time when the wind gust was reported (UTC)
WS_comment	WS comment	String, 100	Additional data on the weather event reported by the weather station (i.e. heavy rainfall, large hail, tornado)
URL	External URL	String, 100	URL of the additional data source (newspaper report or video)

## 65° Пространственное распределение ветровалов на ЕТР, 1986-2017



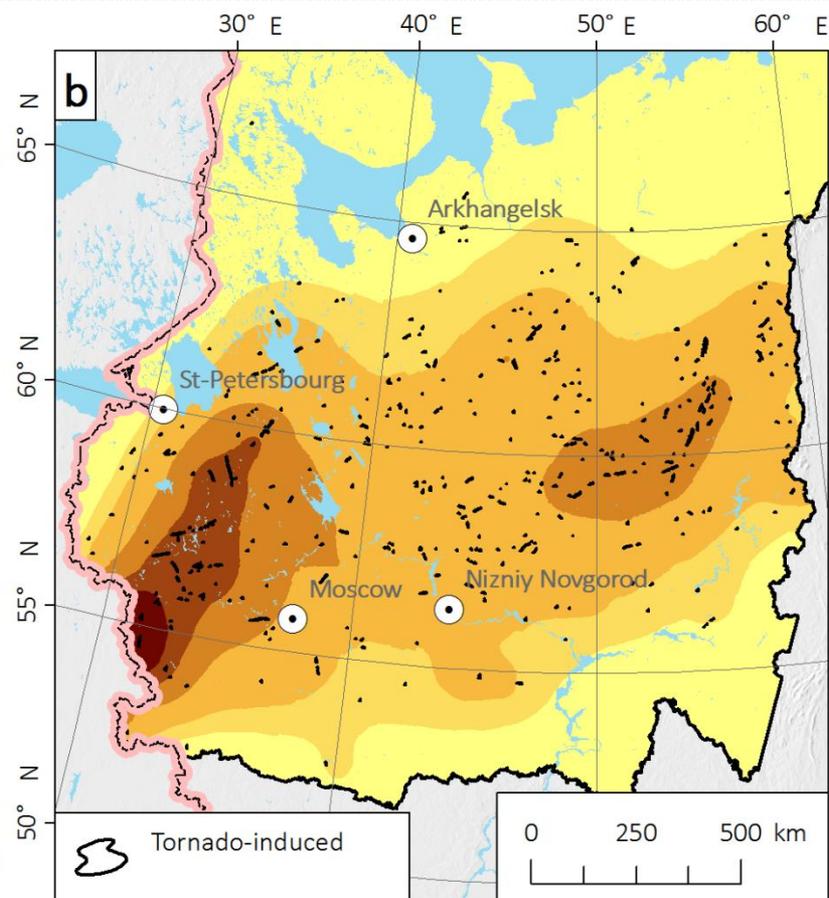
- Общая площадь ветровалов за 1986-2017 гг. – 300,24 тыс. га.
- В среднем 0,19% от лесопокрытой территории, в ряде регионов – более 1%.

# ДОЛЯ ПЛОЩАДИ ВЕТРОВАЛОВ ОТ ЛЕСОПОКРЫТОЙ ТЕРРИТОРИИ: А – ВСЕ ВЕТРОВАЛЫ, В – СМЕРЧЕВЫЕ ВЕТРОВАЛЫ



% of windthrows area of the total forested area

0.01 0.10 0.25 0.50 0.75 1.00 more

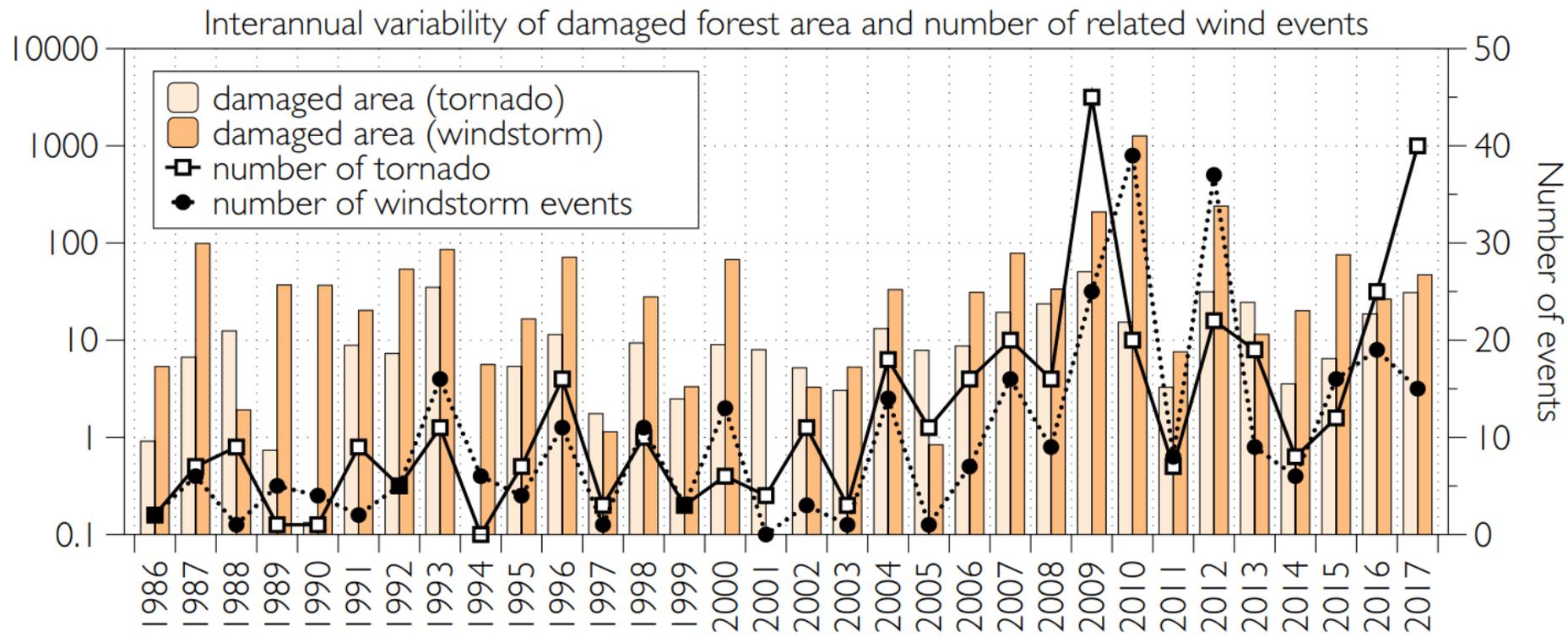


% of tornado-damaged area of the total forested area

0.01 0.02 0.04 0.06 0.08 more



# МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЧИСЛА СЛУЧАЕВ И ПЛОЩАДИ ВЕТРОВАЛОВ, 1986-2017 ГГ.



## ЗНАЧИМОСТЬ МНОГОЛЕТНИХ ТРЕНДОВ ЧИСЛА И ПЛОЩАДИ ВЕТРОВАЛОВ, 1986-2017 ГГ.

Ветровалы от смерчей	Все	>25 га	>50 га	>100 га
Число смерчей	0.6/0	0.29/0.003	0.17/0.001	0.09/0.035
Площадь ветровалов от смерчей	49.1/0.008	42.56/0.01	35.37/0.007	30.6/0.026
<u>Прочие ветровалы</u>	<u>Все</u>	<u>&gt;50 га</u>	<u>&gt;100 га</u>	<u>&gt;200 га</u>
Число случаев	0.42/0.003	0.29/0.008	0.18/0.029	0.12/0.049
Площадь	57.5/0.372	57.7/0.339	44.0/0.399	32.0/0.445

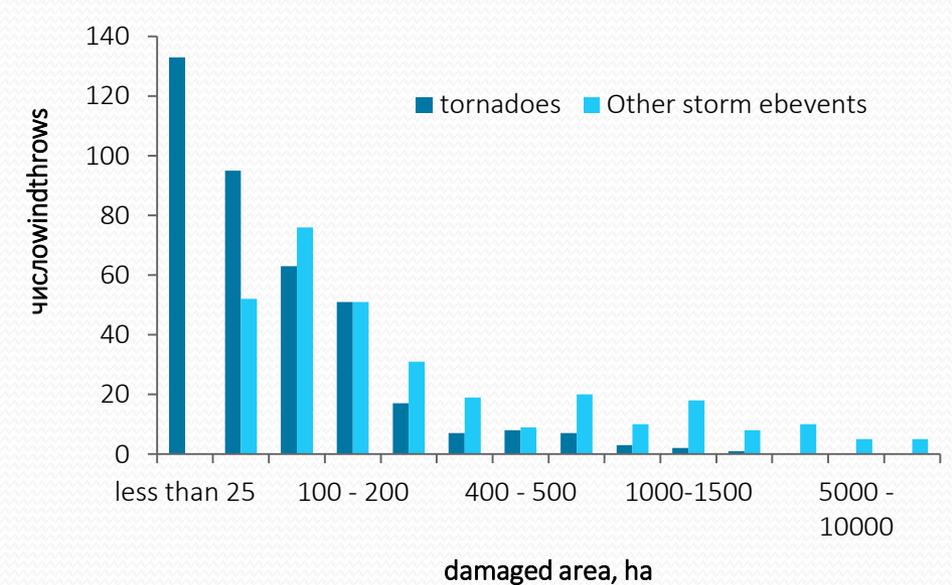
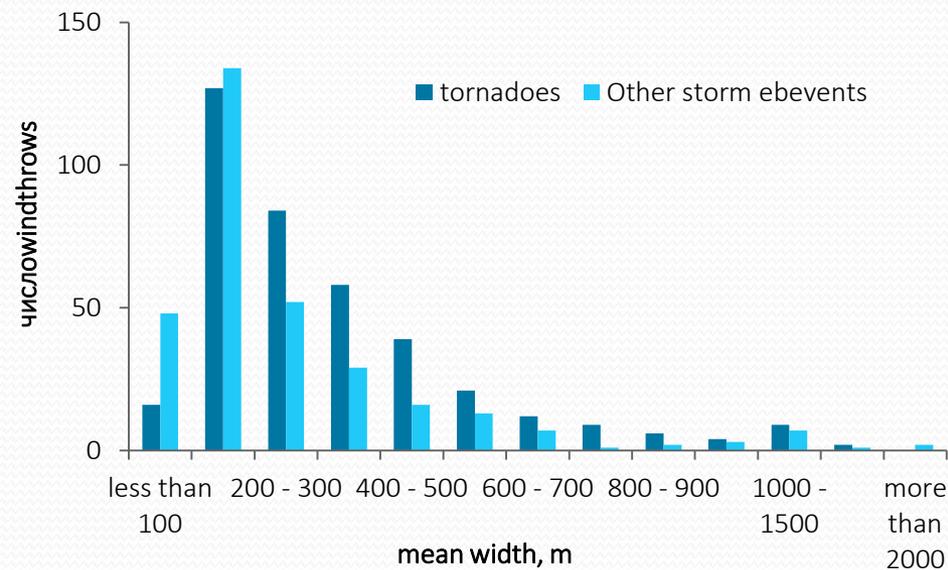
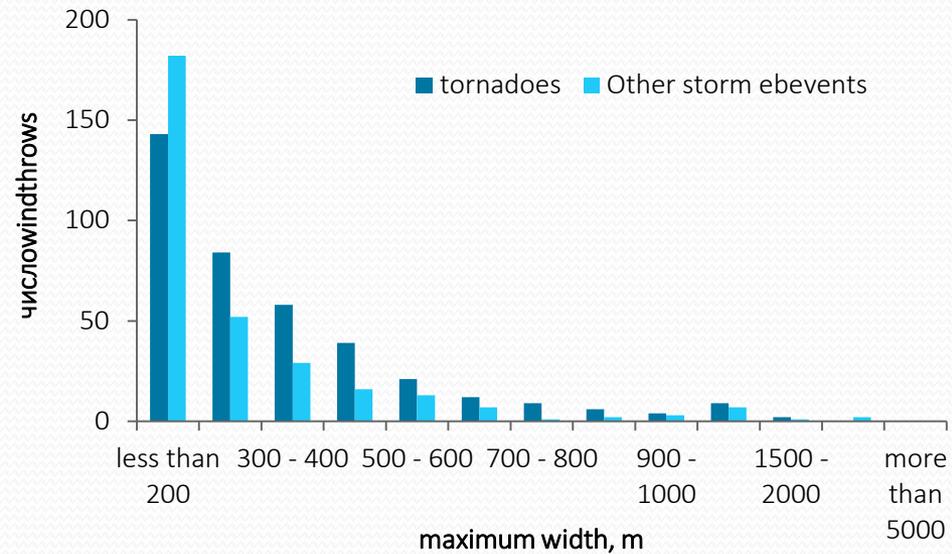
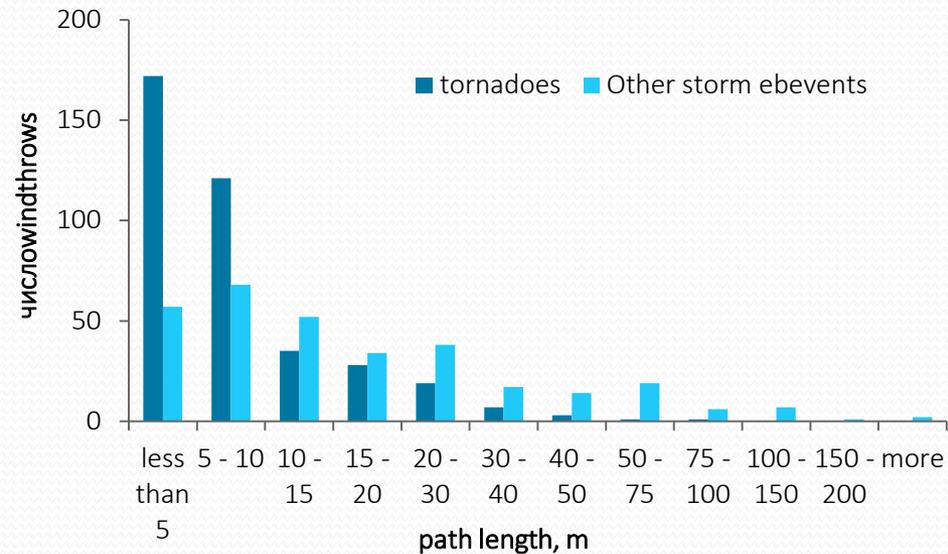
*В таблице приведены*

*Коэффициенты наклона линии тренда по методу Тейла-Сена (в числителе)*

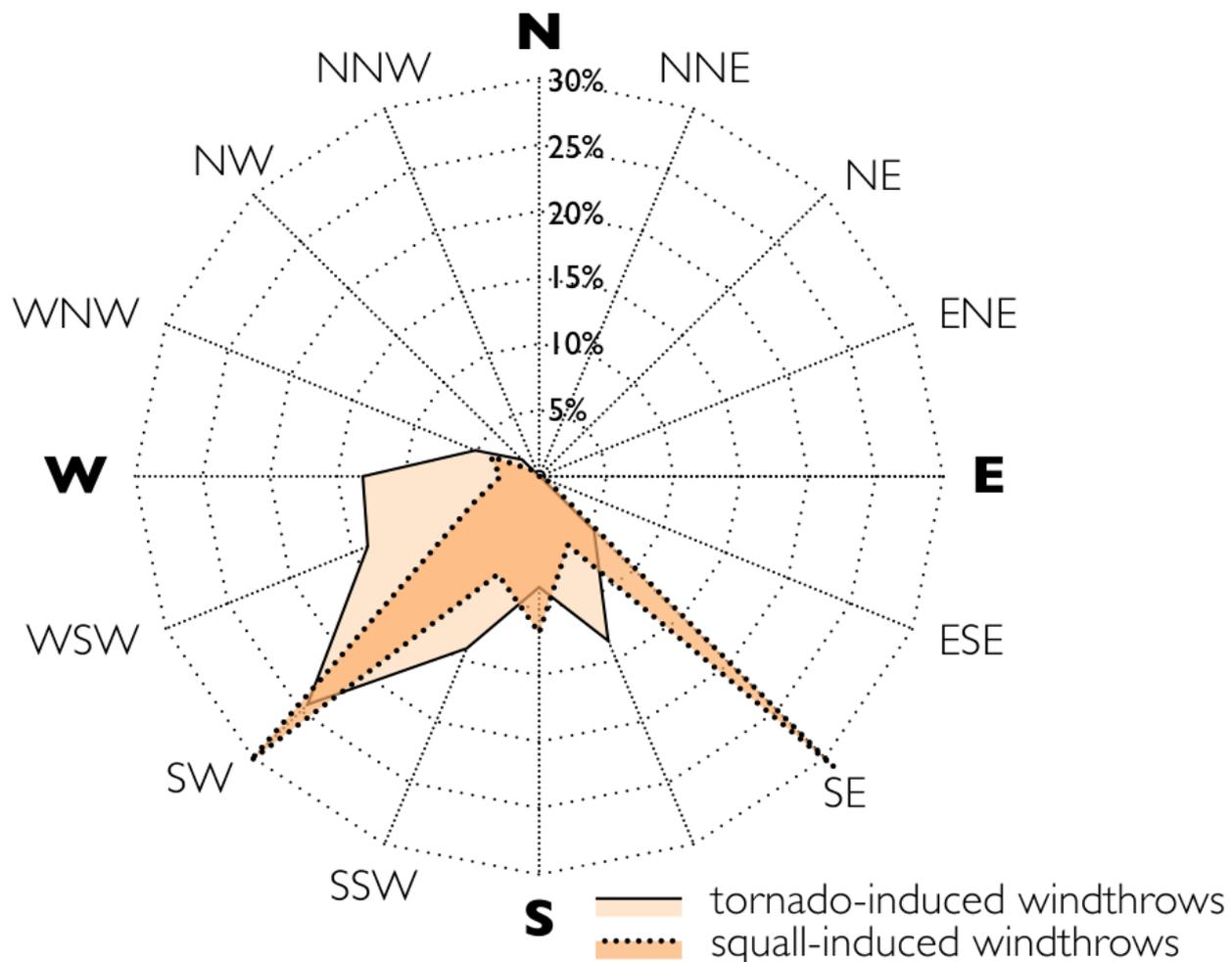
*Уровень значимости (p-level) по тесту Манна-Кендалла (в знаменателе).*

*Статистически значимые при уровне 0,05 выделены красным*

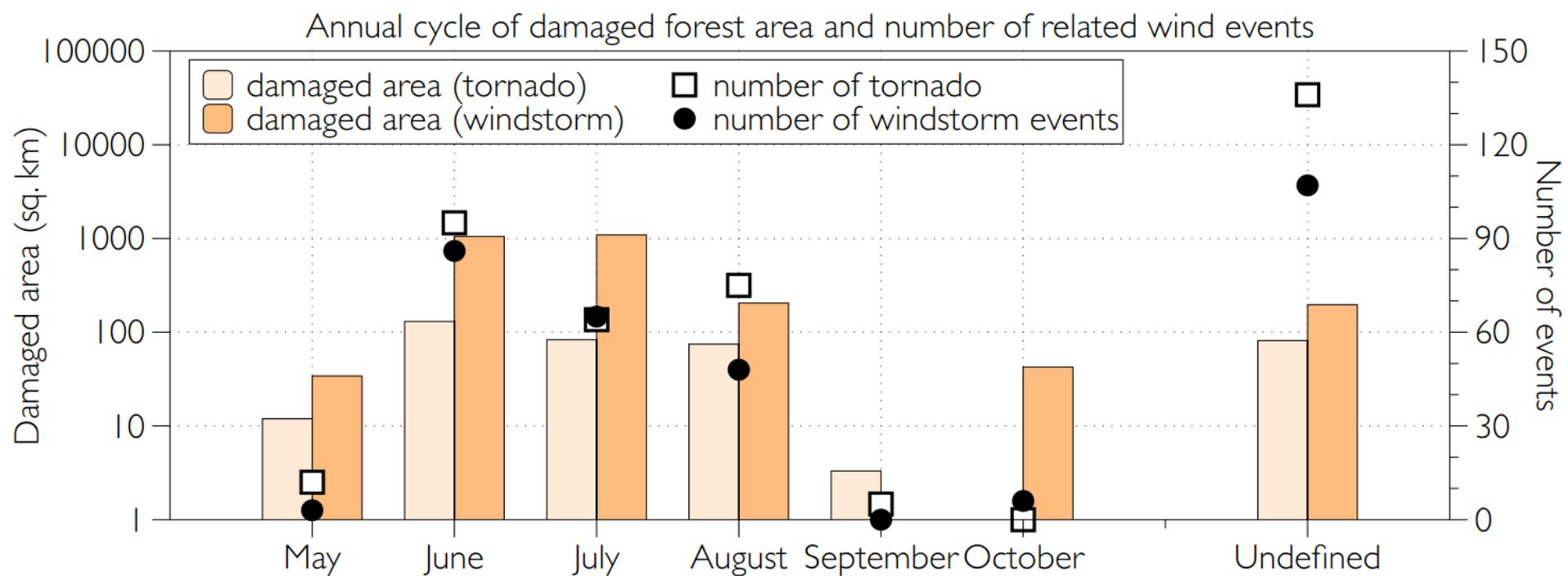
# ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕТРОВАЛОВ



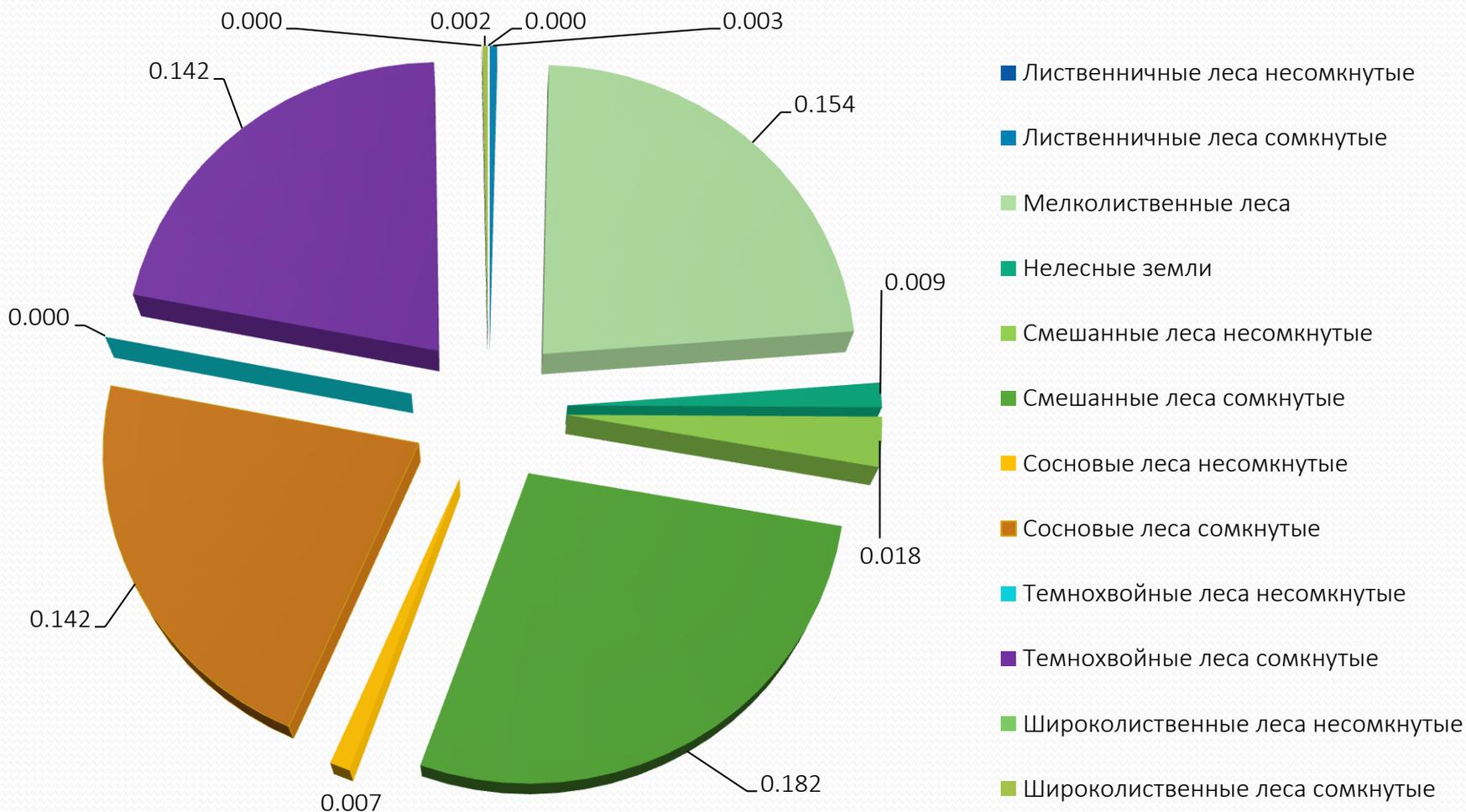
# РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ ВЕТРОВАЛОВ, ВЫЗВАННЫХ СМЕРЧАМИ И ПРОЧИМИ ШТОРМОВЫМИ СОБЫТИЯМИ ПО НАПРАВЛЕНИЯМ ИХ ДВИЖЕНИЯ



# ГОДОВОЙ ХОД КОЛИЧЕСТВА СЛУЧАЕВ И ПЛОЩАДИ ВЕТРОВАЛОВ



# РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ ВЕТРОВАЛОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОРОДНОГО СОСТАВА ЛЕСОВ (С 2004 Г.)



# КРУПНЕЙШИЕ ВЕТРОВАЛЫ НА ЕТР ЗА 1986-2017 ГГ.

Дата	Тип ветровала	Число ветровалов	Общая площадь, га	Длина, км	Макс. ширина, м (без разрывов)	Координаты начала трека	Координаты конца трека	Макс. зафиксированный порыв ветра
29-30.07.2010	шквал (деречо)	4	63914	385	9000	58°35' N 33°57' E	61°22' E 29°22' N	30 м/с (22891)
27.06.2010	шквал (деречо)	2	50290	492	5256	57°45' N 38°28' E	60°52' E 44°55' N	32 м/с (22974)
18.07.2012	шквал	25	21831	292	6367	57°45' N 38°28' E	60°52' E 44°55' N	28 м/с (28105)
16.06.2009	шквал	11	13192	250	5770	57°26' N 47°21' E	59°58' E 50°40' N	28 м/с (27097)
07.06.2009	шквалы и смерчи	24	10001	267	2962	59°23' N 53°18' E	62°17' E 57°46' N	25 м/с (пост 76130)
07.08.1987	штормовой ветер	5	8907	256	2271	56°38' N 29°16' E	56°32' N 33°43' E	28 м/с (26479)
30.06.1993	шквал	16	8559	445	2622	60°14' N 58°52' E	64°16' N 57°16' E	24 м/с (23913)

# РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОДОЛЖЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

- Создана уникальная база геоданных о крупных ветровалах на ЕТР - 702 случая ветровалов за 1986-2017 гг. на общей площади свыше 300 тыс. га.
- Более половины (387 из 702) всех ветровалов вызваны смерчами, но доля площади смерчевых ветровалов – всего 12,5% от общей
- Выявлен ряд ранее неизвестных мощных смерчевых вспышек в 80-е и 90-е гг. (24.07.1988 в Коми, 24.07.1993 в Новгородской области). Рост частоты и площади смерчевых ветровалов статистически значим (в отличие от прочих ветровалов).
- Самые масштабные ветровалы наблюдались летом 2010 г. и были связаны с долгоживущими шквалами – «деречо», также деречо наблюдались в 2009 и 2012 гг.
- **Планируемые исследования**
- Определение связи условий крупномасштабной циркуляции (в том числе блокирующих процессов) на повторяемость крупных ветровалов
- Определение характеристик мезомасштабных конвективных систем, вызвавших ветровалы
- Оценка влияния факторов подстилающей поверхности на возникновение ветровалов
- Создание карт подверженности лесов ветровалам и риска ветровалов для всей ЕТР

# Публикации

- Shikhov A.N., Chernokulsky A.V. (2018) A satellite-derived climatology of unreported смерчей in forested regions of northeast Europe // Remote Sensing of Environment. Vol. 204. PP. 553–567. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425717304662>
- Chernokulsky A.V., Shikhov A.N. (2018). 1984 Ivanovo tornado outbreak: Determination of actual tornado tracks with satellite data // Atmospheric Research 207, 111–121. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809517311158>
- Shikhov A.N., Perminova E.S., Perminov S.I. Satellite-based analysis of the spatial patterns of fire and storm-related forest disturbances in the Ural region, Russia // Natural Hazards. 2019. Vol. 97(1), P. 283-308. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11069-019-03642-z>
- Шихов А.Н., Зарипов А.С. Многолетняя динамика потерь лесов от пожаров и ветровалов на северо-востоке Европейской России по спутниковым данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 7. С. 114-128. URL: <http://jr.rse.cosmos.ru/article.aspx?id=1926>
- Шихов А.Н., Чернокульский А.В., Спрыгин А.А., Ажигов И.О. Идентификация мезомасштабных конвективных облачных систем со смерчами по спутниковым данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 1. С. 223–236. URL: <http://jr.rse.cosmos.ru/article.aspx?id=1948>

An aerial photograph of a forest. A path of fallen, light-colored leaves or pine needles winds through the dense green trees, starting from the bottom left and curving towards the top right. The text "Спасибо за внимание" is overlaid in white in the center of the image.

Спасибо за внимание

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