

# Анализ закономерностей повреждения ветровалами лесов Европейской территории России и Урала по спутниковым данным

*Шихов А.Н. (1),*

(1) Пермский государственный национально-исследовательский университет,  
Пермь, Россия

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (проект № 19-05-00046-а)

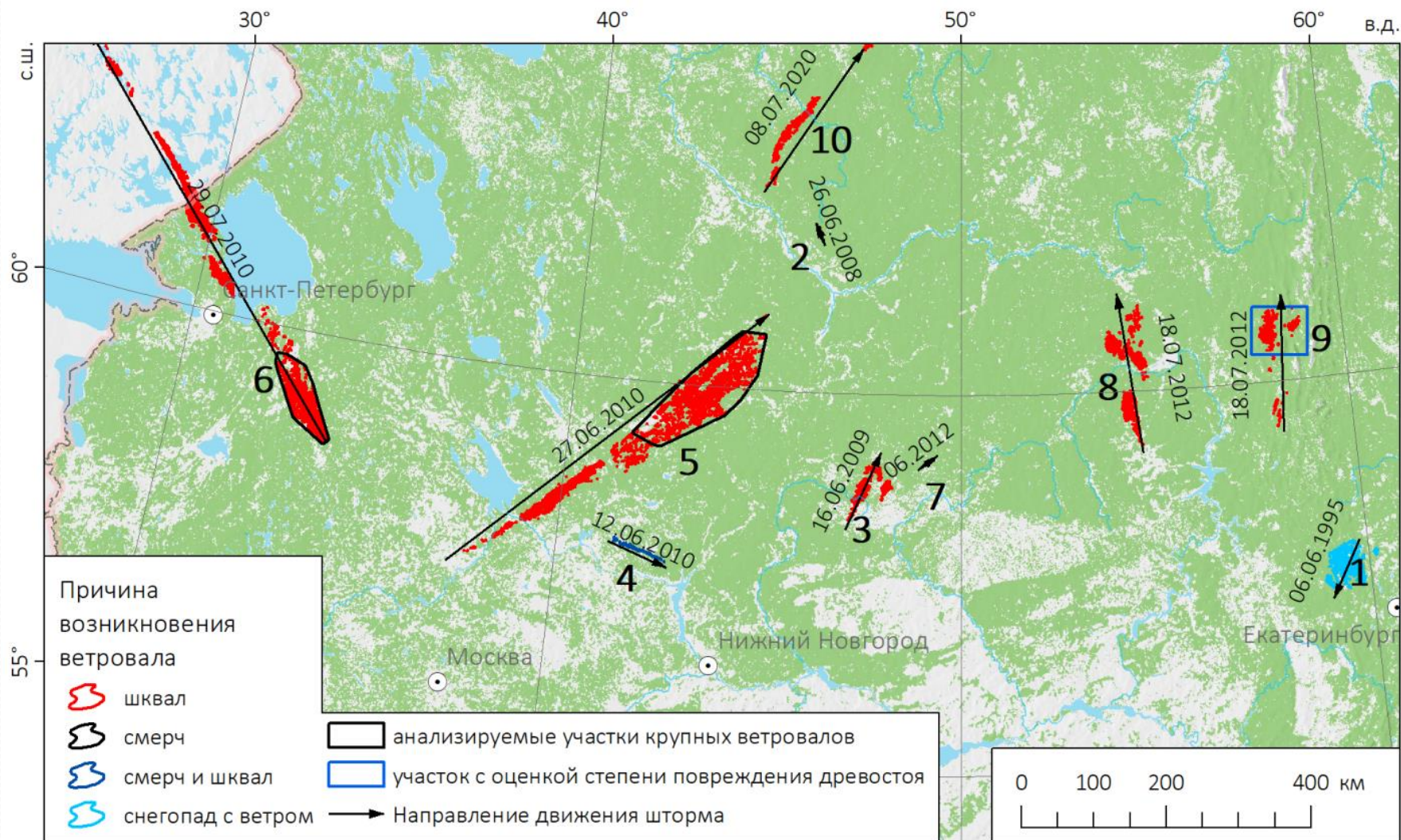
# Актуальность и цель работы

- Ветровалы являются одним из значимых видов нарушений лесного покрова. Помимо метеоусловий (скорости и порывов ветра, интенсивности осадков), на подверженность лесов ветровалам влияют три группы факторов:
- **Характеристики насаждений** (породный состав, высота деревьев, возраст, полнота древостоя).
- **Факторы местоположения** – рельеф, мощность почвенного профиля, механический состав и влажность почвы, близость открытых пространств и водоемов.
- **Практика лесопользования** – появление новых открытых пространств внутри лесного массива при сплошных рубках или прореживание древостоя при выборочных рубках.
- Для территории России закономерности повреждения лесов ветровалами остаются малоизученными.
- **Цель исследования** – получение количественной оценки зависимостей повреждения лесов ветровалами от породного состава и возраста лесных насаждений, а также факторов местоположения, на основе открытых спутниковых данных и цифровых моделей рельефа.

# Исходные данные

- **База данных ветровалов** в лесной зоне ЕТР (Shikhov et al., 2020). Для анализа выбраны 10 крупных ветровалов, 7 из которых вызваны шквалами, 2 – смерчами и один – сильным летним снегопадом (рис. 1)
- **Безоблачные снимки со спутников серии Landsat**, полученные непосредственно перед ветровалом.
- **Цифровые модели рельефа (ЦМР) и поверхности (ЦМП)** из трех источников:
- **Цифровая топографическая карта М 1:100000** на территорию Пермского края,
- **ЦМР SRTM-90** с шагом сетки 3'' (для ветровалов, расположенных за пределами Пермского края, но южнее 60° с.ш.),
- **ЦМП ALOS World Topographic Data** – для ветровалов, расположенных севернее 60° с.ш.
- **Данные Global Forest Change** для выделения вырубок за годы, предшествующие ветровалу.

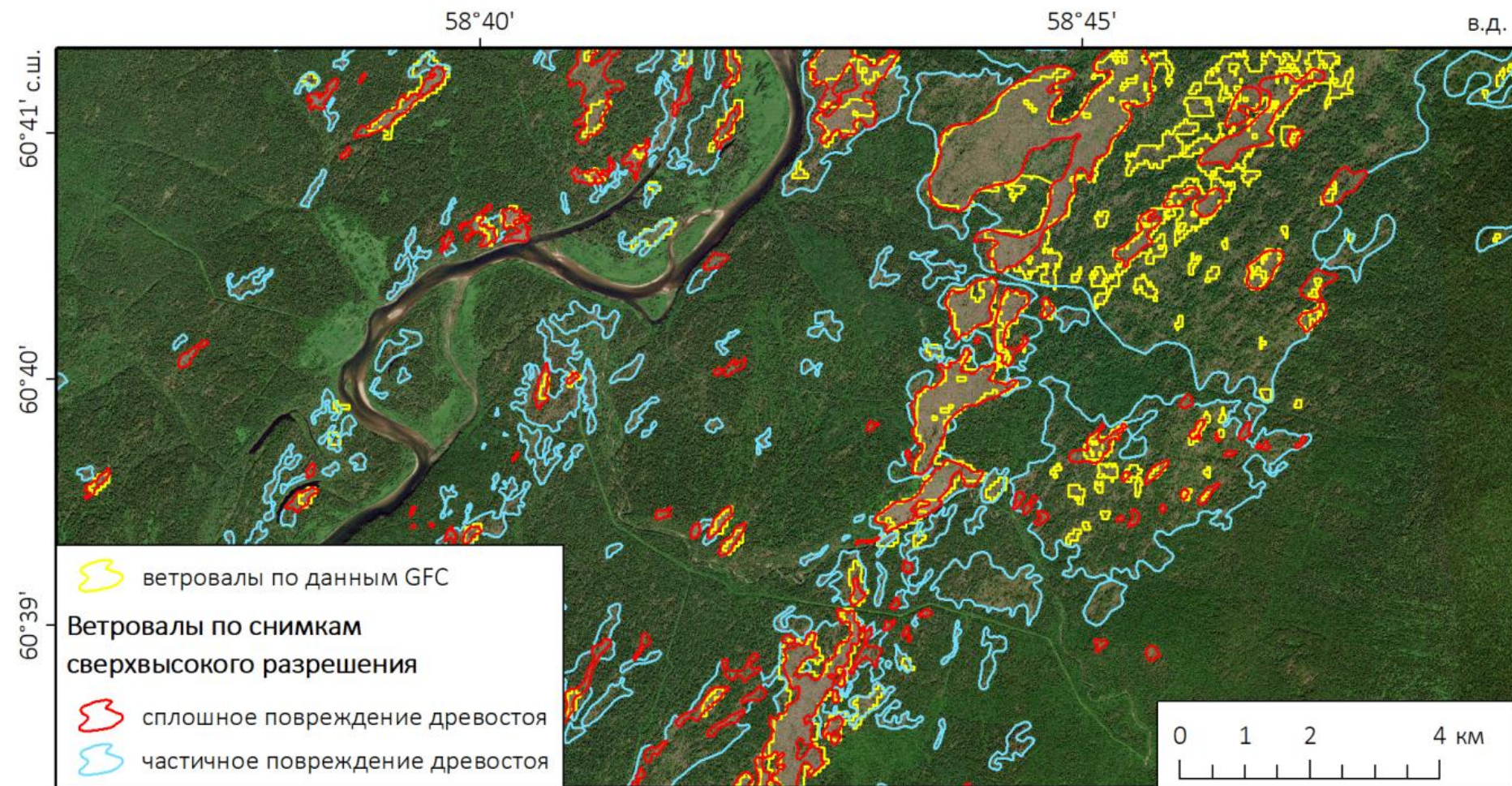
# Пространственное расположение анализируемых случаев ветровалов



# Общая характеристика рассматриваемых случаев ветровалов

Номер ветровала на рис. 1	Дата ветровала	Геометрические характеристики (весь трек и анализируемый участок)			Доля лесо-покрытой территории, %	Отношение площади нарушений лесного покрова по данным GFC за предшествующие ветровалу 10 лет ко всей лесопокрытой территории (%)
		Длина, км	Площадь, км <sup>2</sup>	Макс. ширина, км		
1	06.06.1995	161,3/95,7	174,8/166,5	118,2/96,2	85,7	Нет данных
2	26.06.2008	23,0/23,0	14,8/14,8	2,7/2,7	96,2	0,8
3	16.06.2009	283,0/91,7	123,9/94,8	43,2/43,2	72,0	1,3
4	12.06.2010	81,9/81,9	4,9/4,9	31,3/31,3	73,3	3,2
5	27.06.2010	533/212	502,3/238,8	69,6/69,6	84,4	1,3
6	29.07.2010	622/146	755,5/366,8	39,8/39,8	77,8	4,6
7	июнь 2012	10,2/10,2	20,0/20,0	1,7/1,7	82,9	1,3
8	18.07.2012	202,1/180	95,4/94,6	50,4/50,4	85,4	5,1
9	18.07.2012	306,2/52,2	101,6/85,0	52,1/52,1	94,0	3,2
10	08.07.2020	265/147,5	56,8/55,3	13,8/13,8	88,6	2,6

# Ветровалы, выделенные по данным GFC и по снимкам сверхвысокого разрешения с оценкой степени повреждения древостоя

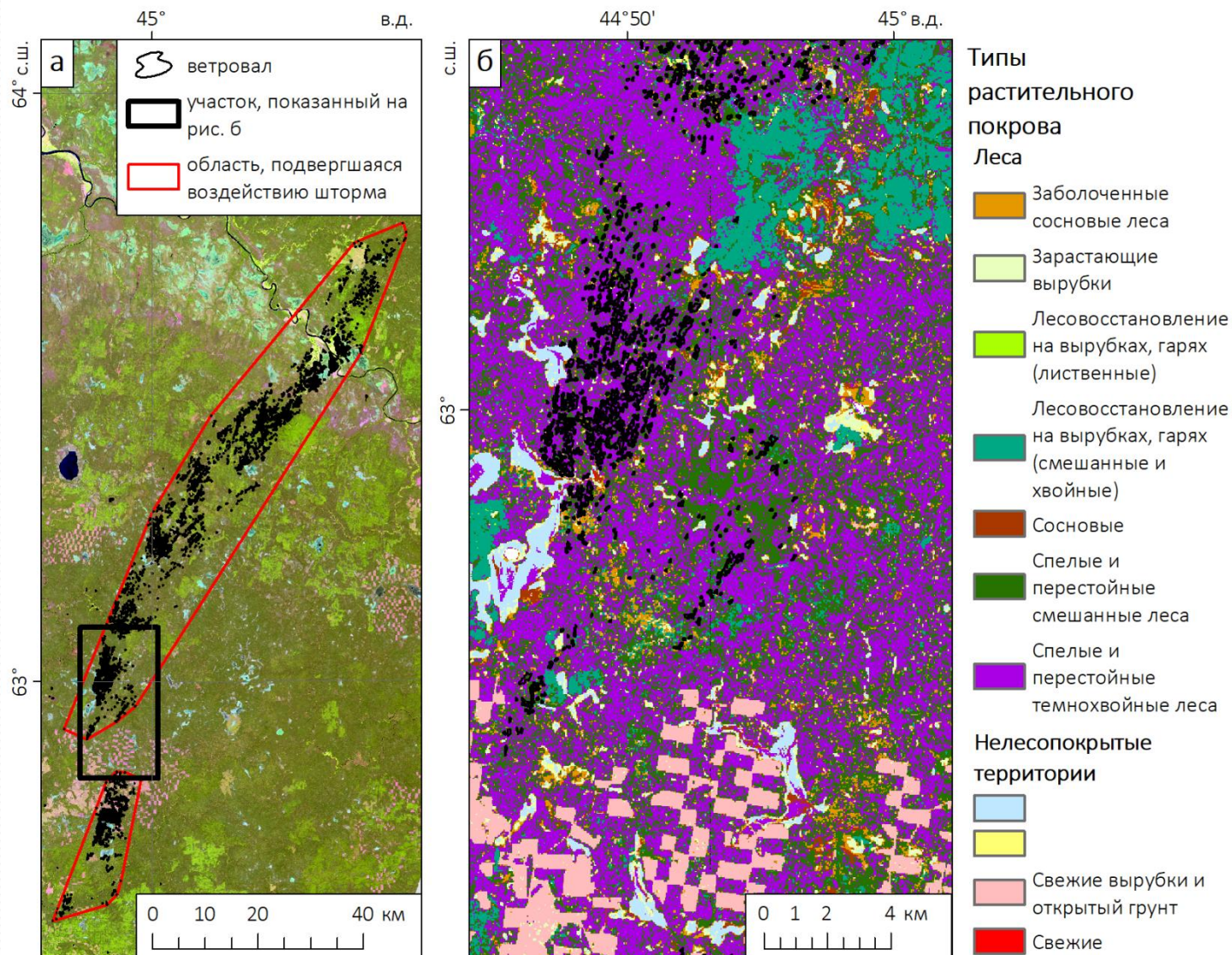


## Сопоставление площади ветровалов по данным GFC с оценкой степени повреждения лесов по снимкам сверхвысокого разрешения

Характеристика ветровалов	GFC	Степень повреждения по снимкам сверхвысокого разрешения	
		Сплошной ветровал	Частичный ветровал
Общая площадь, га	8917	4190	5294
Количество участков	1748	833	1746
Совпадающая площадь, га/(% от общей площади)	4969 (55,7%)	3194 (76,2%)	1765 (33,3%)
Не совпадающая площадь, га/(% от общей площади)	3948 (44,3%)	996 (23,7%)	3529 (66,6%)

# Результаты классификации породного состава и возрастной структуры лесов, подвергшихся воздействию ветровала, методом Random Forest, на примере события 08.07.2020 г.:

а) – исходный снимок Landsat-8, б) – увеличенный фрагмент классифицированного изображения



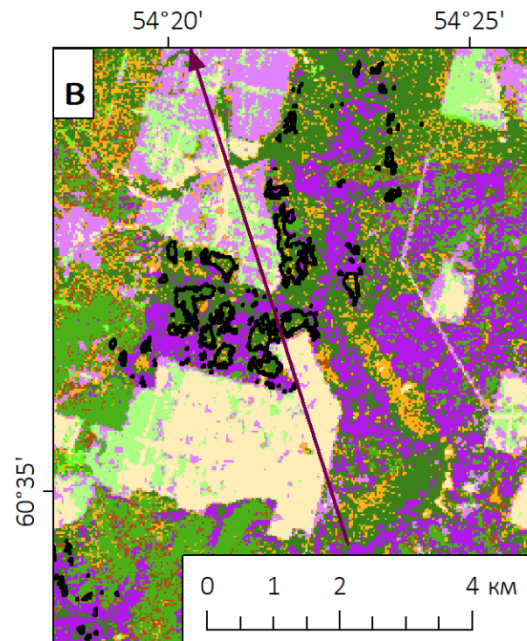
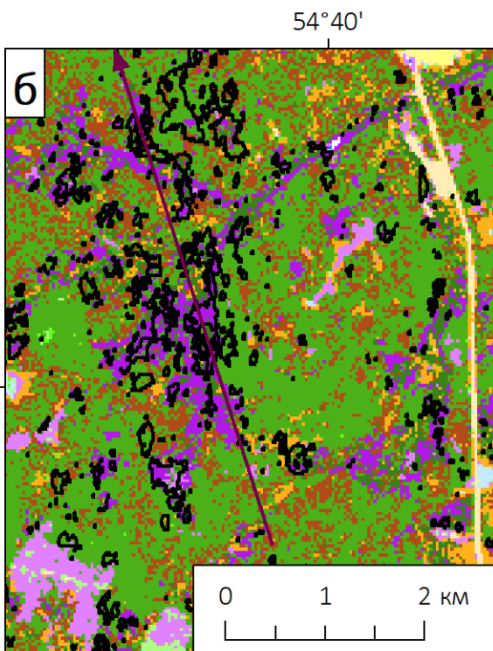
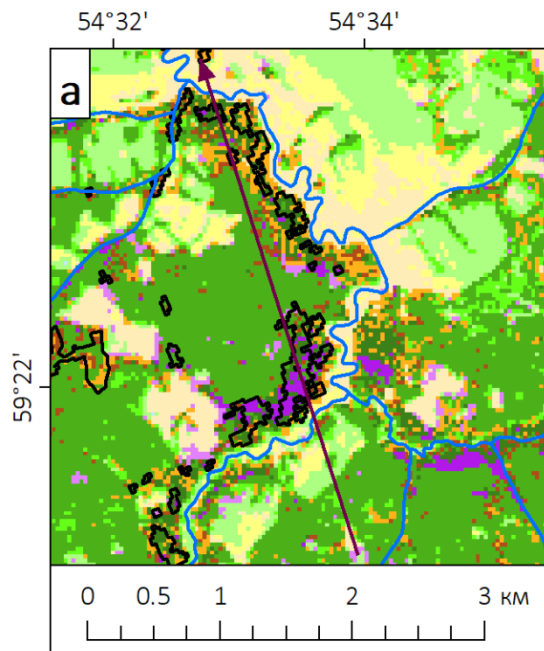


# Доля поврежденных ветровалами насаждений в зависимости от породного состава и возраста

Номер ветровала на рис. 1 и тип вызвавшего его явления	Доля основных типов леса (% от рассматриваемой территории) и площадь ветровалов в них (% от площади данного типа леса)					
	Спелые и перестойные леса			Вторичные леса на вырубках, гарях, сельхозугодьях		Низкорослые заболоченные сосновые леса
	Темно-хвойные	Сосновые	Смешанные	Мелко-лиственные	Смешанные и хвойные	
1 (снегопад)	5,2/20,2	2,4/8,3	25,1/8,6	16,8/0,14	35,2/1,8	1,1/9,6
2 (смерч)	14,4/41,5	-/-	-/-	32,8/9,2	43,7/22,8	5,3/15,4
3 (шквал)	5,9/10,7	-/-	30,4/9,3	12,7/0,5	17,7/2,7	4,5/7,7
4 (шквал, смерч)	5,5/16,7	-/-	<b>32,7/17,4</b>	31,9/4,0	3,1/3,8	-/-
5 (шквал)	1,7/5,4	11,3/3,5	14,0/2,3	26,1/0,7	5,3/0,5	3,5/3,6
6 (шквал)	5,3/22,6	1,7/14,3	35,4/14,4	15,7/1,2	3,3/1,2	7,0/4,2
7 (смерч)	13,9/61,7	-/-	32,1/43,2	7,5/1,3	29,4/13,3	-/-
8 (шквал)	7,8/5,6	9,9/3,4	15,9/4,2	6,2/0,06	21,3/3,4	14,2/2,1
9 (шквал)	29,2/9,0	-/-	38,3/8,3	3,7/0,27	20,0/3,5	2,7/5,0
10 (шквал)	24,8/3,3	<b>3,7/19,7</b>	33,6/3,3	1,2/0,03	17,9/0,9	7,4/3,6

# Особенности пространственного распределения ветровалов на локальном уровне, обусловленные характеристиками древостоя:

- а) – повреждение участка леса в водоохранной зоне вдоль реки;
- б) повреждение участков с повышенной долей хвойных пород;
- в) – повреждение участка леса с наветренной стороны от вырубki.



— Реки

⊞ Ветровалы

Типы растительного покрова

**Нелесопокрытые территории**

□ Болота

□ Луга

□ Пахотные земли

**Прочее**

□ водные объекты

**Леса**

□ Вторичные мелколиственные леса

□ Вторичные смешанные леса

□ Высокоствольные сосновые леса

□ Лесовосстановление на вырубках и гарях (лиственные)

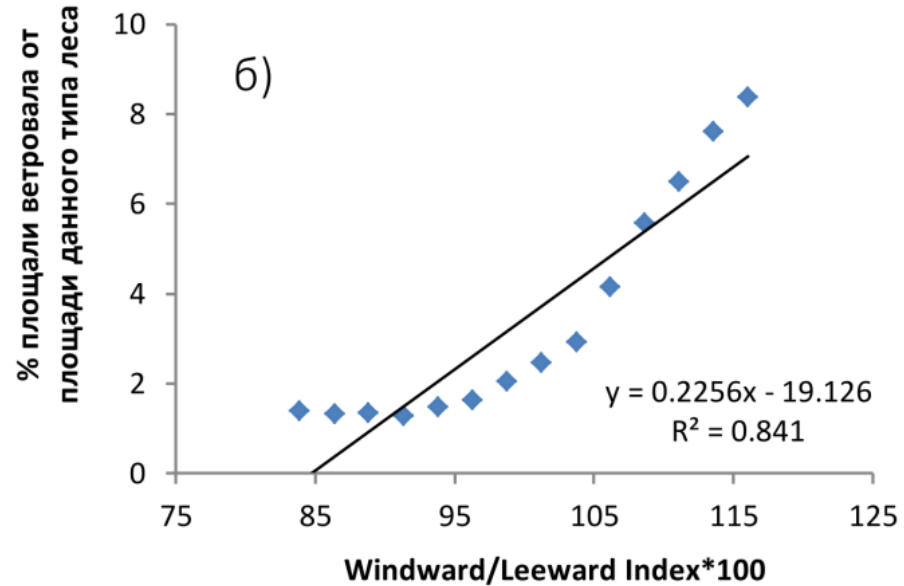
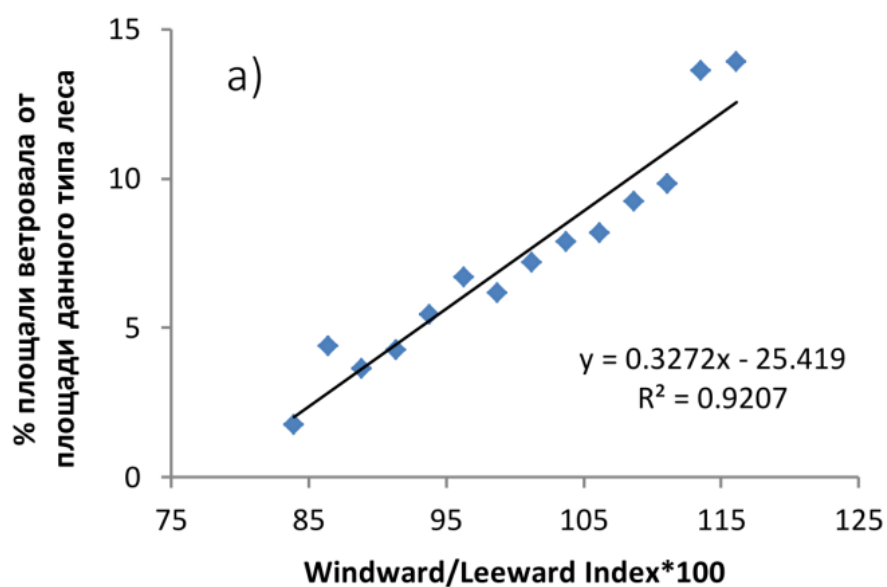
□ Низкорослые заболоченные сосновые леса

□ Лесовосстановление на вырубках и гарях (смешанные и хвойные)

□ Спелые и перестойные смешанные леса

□ Спелые и перестойные темнохвойные леса

# Оценка влияния рельефа на повреждение лесов ветровалами



*Зависимости процента площади сплошных ветровалов в темнохвойных (а) и смешанных (б) лесах от значений индекса наветренного и подветренного склона (для ветровала №5)*

# Зависимости процента площади лесов, пострадавших от ветровала от морфометрических параметров рельефа - индекса наветренного/подветренного склона (windward-Leeward Index) и выпуклости склона (Convexity)

Номер ветровала на рис. 1 и тип вызвавшего его явления		Коэффициенты корреляции Спирмена между процентом площади ветровала в данном типе леса и морфометрической характеристикой			
		Windward/Leeward Index		Convexity	
		Темнохвойный лес	Смешанный лес	Темнохвойный лес	Смешанный лес
1 (снегопад)		<u>0,92</u>	<u>0,81</u>	<u>-0,99</u>	<u>-0,82</u>
2 (смерч)		0,17	<u>0,60</u>	<u>-0,96</u>	<u>-0,78</u>
3 (шквал)		0,52	<u>0,79</u>	0,07	0,69
4 (шквал, смерч)		-0,36	-0,22	<u>0,81</u>	<u>0,76</u>
5 (шквал)		<u>0,98</u>	<u>0,96</u>	<u>0,97</u>	<u>0,95</u>
6 (шквал)		<u>-0,78</u>	0,29	<u>0,93</u>	<u>0,93</u>
7 (смерч)		<u>-0,56</u>	0,28	-0,52	<u>-0,81</u>
8 (шквал)		-0,11	-0,16	-0,47	-0,49
9 (шквал)	данные GFC	0,17	0,23	0,40	<u>0,66</u>
	Сплошной ветровал	<u>0,96</u>	<u>0,93</u>	0,43	<u>0,77</u>
	Частичный ветровал	<u>0,57</u>	<u>-0,94</u>	-0,11	0,42
10 (шквал)		-0,39	0,33	<u>-0,86</u>	<u>0,76</u>

## Зависимость процента площади лесов, поврежденных ветровалами, от близости к свежим вырубкам и другим нарушениям лесного покрова

Номер ветровала на рис. 1 и тип вызвавшего его явления	Доля площади ветровала от общей площади внутри буферной зоны вокруг свежих вырубок (числитель) и по всей территории (знаменатель)		
	Темнохвойные леса	Смешанные леса	Сосновые леса (в.т.ч. заболоченные)
3 (шквал)	14,4/10,7	16,2/9,2	12,2/7,7
5 (шквал)	13,3/5,4	6,8/2,3	8,9/3,5
6 (шквал)	33,0/22,6	21,4/14,4	14,3/6,2
8 (шквал)	7,3/5,6	7,6/4,2	7,7/3,4
9 (шквал)	10,6/9,0	5,0/5,7	3,4/5,0
10 (шквал)	6,0/3,3	5,7/3,3	5,8/19,6

# ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

- Породный состав и возраст насаждений являются ключевыми факторами, определяющими их подверженность ветровалам. Наиболее подвержены ветровалам спелые и перестойные темнохвойные леса, наименее подвержены ветровалам вторичные мелколиственные леса
- Влияние факторов местоположения (из которых рассматривались рельеф и лесозаготовки) менее значимо и в некоторых случаях разнонаправленно.
- В пределах наиболее крупных ветровалов, вызванных шквалами, доля площади поврежденных насаждений на наветренных склонах в 3-6 раз выше, чем на подветренных участках.
- Подтверждено существенное (в 1,5-3 раза) увеличение процента площади ветровалов на участках леса, находящихся в непосредственной близости от свежих рубок. Данная зависимость также выражена не для всех ветровалов
- Неустойчивость выявленных зависимостей подтверждает большую роль случайных факторов в возникновении ветровалов и сложность их прогнозирования на региональном уровне

An aerial photograph of a dense forest. The trees are mostly green, but a large, prominent tree in the foreground has a distinctive, feathery, purple-tinged canopy. The text "Спасибо за внимание" is overlaid in the center of the image.

Спасибо за внимание

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