

DOI: 10.31509/2658-607x-202581-160
УДК 630*421

ПОРОДНЫЙ СОСТАВ, СТРУКТУРА И ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА ВАЛЕЖА ЛЕСОВ ЗАПОВЕДНИКА «КОЛОГРИВСКИЙ ЛЕС» ПОСЛЕ КАТАСТРОФИЧЕСКОГО ВЕТРОВАЛА 2021 ГОДА

© 2025 А. В. Лебедев^{1,2}, Н. В. Иванова³, Д. Ю. Гостева¹, В. В. Гостев¹,
И. Г. Криницын^{2,4}, М. П. Шашков⁵

¹Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева
Россия, 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49

²Государственный природный заповедник «Кологривский лес» имени М. Г. Сеницына
Россия, 157440, Костромская обл., г. Кологрив, ул. Некрасова, д. 48

³ИМПБ РАН — филиал ИПМ им. М. В. Келдыша РАН,
Россия, 142290, Московская обл., г. Пущино, ул. проф. Виткевича, д. 1

⁴Центр международного сотрудничества Министерства просвещения Российской Федерации
Россия, 115093, г. Москва, ул. Большая Серпуховская, д. 25, стр. 14

⁵Карагандинский университет имени академика Е.А. Букетова
Казахстан, 100024, г. Караганда, ул. Университетская, д. 28

Поступила в редакцию: 22.12.2024
После рецензирования: 04.02.2025
Принята к печати: 14.03.2025

Массовые ветровалы приводят к катастрофическим нарушениям структуры лесных насаждений, последствия которых имеют комплексный и долговременный характер. Цель исследования – оценка изменений структуры малонарушенных и разновозрастных древостоев и запасов углерода валежа в заповеднике «Кологривский лес» после катастрофического ураганного ветра 2021 года с использованием наземных данных. Для оценки последствий воздействия ураганного ветра на лесные насаждения Кологривского участка заповедника в июле 2022 года на ветровалах различной интенсивности было заложено 15 учетных площадей, на которых проведена глазомерно-измеритель-

ная таксация для учета растущей части древостоя, сохранившейся после катастрофического воздействия. Отпавшую часть древостоя изучали на тех же площадях на трансектах, учитывали древесную породу, диаметр и стадию разложения валежа. Запасы углерода в валеже на трансектах оценивали с использованием трех расчетных методов, основанных на значениях базисной плотности древесины по стадиям разложения и регрессионной зависимости содержания углерода в валеже от его объема. Результаты показали, что наибольшим разнообразием стадий разложения и древесных пород в составе валежа характеризуются сложные ельники липовые. В одновозрастных пихто-ельниках, ельниках, березняках и осинниках в структуре валежной древесины преобладали стволы первой стадии разложения, участие других стадий сравнительно невелико. Лучшую устойчивость к воздействию ураганного ветра проявили береза и осина, а менее устойчивой оказалась ель. В среднем доля ветровальной древесины ели составила 79%, березы и осины 34% от запаса до ветровала. Наибольшие запасы углерода валежа имеют чистые и условно-чистые одновозрастные спелые и перестойные ельники в бассейнах рек Сеха и Понга, достигающие на отдельных участках 65.3–68.8 тонн С / га.

Ключевые слова: сукцессии, южная тайга, разновозрастные и одновозрастные древостои, стадии разложения валежа

Массовые ветровалы являются одним из основных природных факторов, приводящих к катастрофическим нарушениям структуры лесных насаждений (Петухов и др., 2011; Осипов, Манов, 2015; Широких и др., 2017), последствия которых имеют комплексный и долговременный характер (Мочалов, 2002). Вопросы формирования ветровальных нарушений в лесах продолжают находиться в центре внимания исследователей, несмотря на продолжительную историю изучения (Forzieri et al., 2020; Шихов и др., 2023). Значительное число исследований, направленных на изучение форми-

рования ветровалов и структуры растительного покрова, их пространственного распределения, динамики нарушенных площадей проведено в лесах различных регионов Евразии (Чернов, 2001; Уланова, 2004; Алесенков и др., 2008; Крылов и др., 2012; Казенас и др., 2016; Петухов, 2016; Шихов и др., 2017; Кутявин, Манов, 2019; Бобровский, Стаменов, 2020; Ханина и др., 2021; Иванов и др., 2022; Панкова, Панков, 2022; Шихов и др., 2023; Jim, Liu, 1997; Baumann et al., 2014; Forzieri et al., 2020; Romagnoli et al., 2023). Противоречивые выводы о повреждаемости древесных пород ураганскими ветрами в за-

висимости от лесорастительных условий и структуры древостоев служат ограничением для прогнозирования ветровалов (Everham, Brokaw, 1996; Мешкова и др., 2013).

Потери лесов от ураганных ветров зависят от действия абиотических и биотических факторов. К первым из них относятся скорость и направление ветра, топографические и почвенные условия, а ко вторым – видовой состав и размер деревьев, структура и плотность их крон, тип корневой системы, наличие болезней и вредителей леса (Филенкова и др., 2011; Everham, Brokaw, 1996). В последние десятилетия во многих районах Евразии наблюдается рост площадей лесов, поврежденных ураганными ветрами. В качестве основных причин этого явления рассматриваются увеличение количества лесопокрытых площадей, старение лесов, изменение их породного состава и увеличение среднего запаса древесины, что приводит к росту уязвимых к воздействию ураганного ветра насаждений и в конечном итоге ветровальных площадей (Шихов и др., 2023). Важный вклад вносят региональные особенности климата и его изменения (Forzieri et al., 2020). Прогнозы климатических изменений указывают на увеличение степени

уязвимости лесов к воздействию ураганных ветров в будущем (Moatti, Thiébault, 2016; Patacca et al., 2022) на фоне повышения средней скорости ветра и частоты возникновения шквалистых ветров (Gregow et al., 2017; Radler et al., 2019).

Большой интерес для исследования массовых ветровалов имеют территории, на которых представлены древостои с разной давностью, интенсивностью и характером предшествующих антропогенных воздействий. Государственный заповедник «Кологривский лес» расположен в северо-восточной части Костромской области и состоит из двух изолированных участков (Кологривский и Мантуровский). Общая площадь территории составляет 58939.6 га. «Ядром» заповедника является малонарушенный липово-еловый массив площадью ~ 700 га, который, согласно литературным данным, не подвергался антропогенным нарушениям в последние 300–400 лет (Абатуров, 1988; Хорошев и др., 2013). Остальные леса заповедника представляют собой различные стадии сукцессии таежных лесов после сплошных рубок и пожаров середины XX века.

В мае 2021 года леса заповедника подверглись воздействию ураганного северо-восточного ветра, порывы которого

достигали 30 м/с. По данным, полученным летом 2021 года путём сравнения двух сцен Landsat 8, в границах Кологривского участка, площадь ветровальных повреждений составила 3.8 тыс. га с запасом (объемом) валежной древесины около 500 тыс. м³ (Лебедев, Чистяков, 2021). На основе дистанционных данных и информации портала GBIF для территории ядра заповедника показано, что более подвержены ветровалу были еловые древостои, а также древостои большей высоты или произрастающие на больших высотах на местности (Ivanova et al., 2024). По материалам аэрофотосъемки оценено, что в «ядре» заповедника общий запас поваленных деревьев составляет не менее 3660 м³ или 1045 т углерода (Иванова и др., 2023). Также было выяснено, что дистанционные данные (аэрофотосъемка) не позволяют оценить структуру части древостоя, отпавшей в результате ураганного ветра. Поэтому **целью** данной работы стала оценка изменений состава древостоев, структуры и запасов углерода валежа в заповеднике «Кологривский лес» после катастрофического ураганного ветра 2021 г. с использованием наземных данных. **Задачи исследования:** 1) определение лесоводс-

твенно-таксационных показателей древостоев, пострадавших от ураганного ветра; 2) определение интенсивности ветровала по соотношению запасов растущей и отпавшей частей древостоев; 3) изучение породного состава и структуры валежа; 4) оценка потерь углерода в пуле растущей биомассы древостоев в результате ветровала.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Полевые наземные исследования проводили на двух участках – в «ядре» заповедника (бассейн р. Вонюх) и в районе кордонов Сеха (бассейны рек Сеха и Лондушка) и Понга (бассейн реки Понга).

До ветровала в составе малонарушенных древостоев «ядра» заповедника, помимо ели европейской (*Picea abies* (L.) Karst.), ели финской (*P. x fennica* (Regel) Kom.) и липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.), участвовали береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.), пихта сибирская (*Abies sibirica* Ledeb), вяз шершавый (*Ulmus glabra* Huds.), клен остролистный (*Acer platanoides* L.), единично – рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.) и ива козья (*Salix caprea* L.). Древостои разновозрастные и многоярусные, в популяциях позднесукцессионных видов деревьев ча-

сто присутствовали несколько поколений. В пологе леса имелись многочисленные «окна», образованные в разное время при падении единичных деревьев.

Леса в бассейне рек Сеха, Понга и Лондушка интенсивно вырубались с середины XX в. и вплоть до создания заповедника в 2006 г. (Жири́н и др., 2012). По данным таксационных описаний в настоящее время лесной покров этой территории представляет собой мозаику зарастающих вырубок, лесных культур разного возраста и гарей различной давности. Доминируют средневозрастные и молодые березняки (из *Betula pendula* Roth), массивы которых имеют площадь не менее 100 га. Участки старых осиновых лесов (из *Populus tremula* L.) расположены в местах лесных пожаров (Хорошев и др., 2013), приурочены в основном к водоразделам, площадь их составляет порядка 10–15 га. Ельники сохранились вдоль водоохраных зон рек, а также в виде отдельных фрагментов на водораздельных участках. Площади еловых лесов варьируют от 10 до 80 га, наиболее крупные и старовозрастные массивы приурочены к труднодоступным участкам на водоразделах.

В ходе наземных исследований в поврежденных ветровалом древостоях

было заложено 15 учетных площадей в пяти группах лесных насаждений (рис. 1): 1) чистые и условно-чистые одновозрастные спелые и перестойные ельники в бассейнах рек Сеха и Понга, 2) условно-чистые спелые и перестойные березняки и осинники в бассейнах рек Сеха и Лондушка, 3) спелые и перестойные пихтоельники в бассейне реки Вонюх, 4) разновозрастные сложные ельники липовые на границе с перестойным березняком в бассейне реки Вонюх, 5) разновозрастные сложные ельники липовые в бассейне реки Вонюх. При выборе мест заложения трансект выбирали участки, которые с одной стороны относятся к наиболее поврежденным ветровалом, а с другой – являются транспортно доступными (рис. 2).

Для характеристики отпавшей части древостоев на каждой учетной площадке с использованием мерной ленты закладывали трансекту длиной 30 м и шириной 2 м в направлении, перпендикулярном стволам лежащих на земле деревьев. На пересечении мерной ленты со стволами фиксировали расстояние от начала трансекты, древесную породу, диаметр ствола, а также стадию разложения по методу падающего ножа в соответствии с классификацией разделения

стволов на пять стадий разложения (Renvall, 1995; Khanina, Bobrovsky, 2021; Ханина и др., 2023) (табл. 1). Запас валежа на трансектах рассчитывали отдельно

для каждой стадии разложения по двухметровым цилиндрам с использованием формулы нахождения объема фрагмента ствола по срединному сечению:

$$M_j = \frac{2 \times \pi \times \left(\left(\frac{d_1}{200} \right)^2 + \left(\frac{d_2}{200} \right)^2 + \dots + \left(\frac{d_n}{200} \right)^2 \right)}{s},$$

где M_j – запас древесины для j -ой стадии разложения, м³/га; d_n – диаметр n -ого ствола на пересечении с мерной лентой, см; s – площадь, занятая трансектой, га.

а



б



в



г



Рисунок 1. Ветровальные повреждения в древостоях заповедника а) ельник в бассейне р. Сеха, б) березняк в бассейне р. Лондушка, в) пихто-ельник в бассейне р. Вонюх, г) ельник липняковый в бассейне р. Вонюх

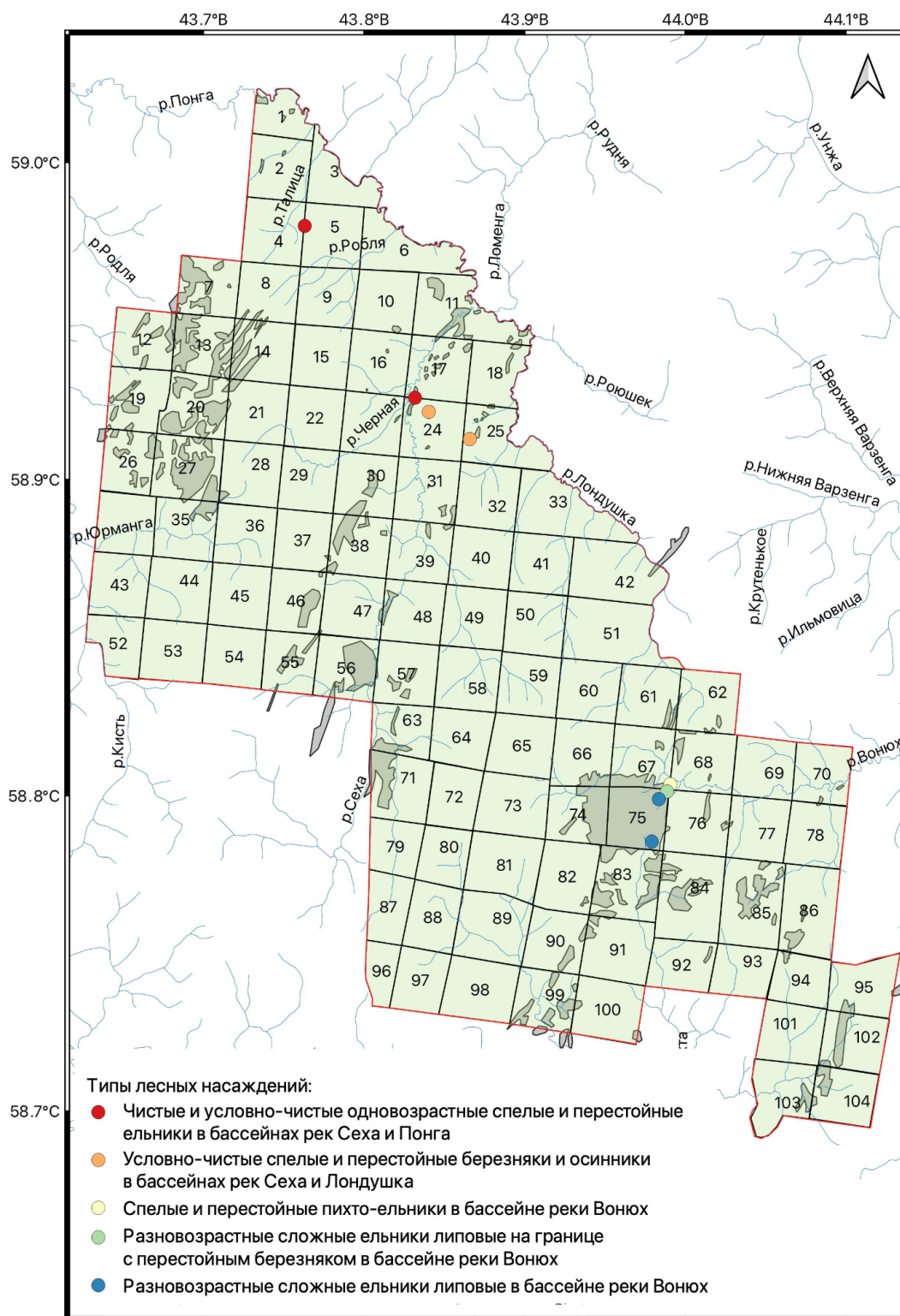


Рисунок 2. Расположение крупных ветровалов (грязно-зеленая заливка) и мест заложения учетных площадей в основных группах лесных насаждений заповедника

Таблица 1. Характеристика стадий разложения древесины (Ханина и др., 2023)

Стадия раз- ложения	Характеристика древесины	Характеристика ствола
1	Древесина твердая, нож проникает только на несколько миллиметров	Кора ствола почти не повреждена
2	Древесина довольно твердая, нож проникает на 1–2 см	Кора обычно присутствует, местами начинает отваливаться
3	Древесина довольно мягкая, нож проникает на 3–5 см	Верхняя часть ствола сохраняет твердые участки. На нижней части кора практически отсутствует
4	Древесина мягкая, связная, но при поднятии рассыпается. Лезвие ножа полностью входит	Ствол в целом держит форму, в основном без коры. Небольшие фрагменты коры сохранены в верхней части
5	Древесина очень мягкая, слабо связная, легко распадается на мелкие фрагменты	Ствол значительно уменьшился, потерял форму

В качестве деревьев, поваленных в результате ветровала 2021 года, принимали стволы первой стадии разложения.

Исходя из этого, интенсивность ветровала по запасу древесины определяли следующим образом:

$$I = \frac{M_1}{M_g + M_1} \times 100,$$

где I – интенсивность ветровала, %; M_1 – объемный запас мертвой древесины первой стадии разложения, м³/га; M_g – объемный запас древесины растущей части древостоя, м³/га.

Для характеристики растущей части древостоя в местах заложения трансект проводили глазомерно-измерительную таксацию с определением средней высоты и диаметра деревьев, суммы площадей сечений, запаса, типа леса. Визуально в насаждении отбирали среднее дерево, для которого измеряли диаметр на высоте груди и высоту. Сумму площадей сечений измеряли полнотометром с шириной рамки 1.3 см и длиной цепи 65 см. Запас растущей древесины рассчитывали через произведение сум-

мы площадей сечений на среднюю видовую высоту (Загребеев и др., 1992). Тип леса определяли по преобладающей древесной породе и видам-индикаторам живого напочвенного покрова (Сукачев, 1930; Курнаев, 1968; Рекомендации ..., 1982; Заугольнова, Морозова, 2006). Сведения о возрасте насаждений приводятся с использованием материалов лесоустройства заповедника за 2009 год.

Оценку запасов углерода в валеже на трансектах проводили с использованием трех расчетных методов, два из

которых основаны на использовании усредненных значений базисной плотности древесины по стадиям разложения (Krankina, Harmon, 1995; Бобкова, Кузнецов, 2015). В первом из них (Krankina, Harmon, 1995) представлены базисные плотности для условий северо-запада

России, во втором (Бобкова, Кузнецов, 2015) – для ельников зоны средней тайги северо-восточной части России. Перевод массовых единиц в углеродные единицы осуществлялся через конверсионный коэффициент (Замолотчиков и др., 2013; Осипов и др., 2024):

$$C_i = V_i \times \text{БП}_i \times k,$$

где C_i – запас углерода в i -ой стадии разложения, $\text{м}^3/\text{га}$; V_i – объемный запас i -ой стадии разложения, $\text{м}^3/\text{га}$; БП_i – базисная плотность древесины i -ой стадии разложения, $\text{г}/\text{см}^3$; k – конверсионный коэффициент для перевода массовых единиц в углеродные.

Третий метод заключался в использовании регрессионной зависимости содержания углерода в валеже (y , тонн С / га) от величины его объема (x , $\text{м}^3/\text{га}$): $y = 0.186x$ (Капица и др., 2012).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты учетов валежа и растущей части древостоев в рассматриваемых группах лесов представлены в таблице 2.

Показано, что **в чистых и условно-чистых одновозрастных спелых и перестойных ельниках в бассейнах рек**

Сеха и Понга средняя интенсивность ветровала составила $54.6 \pm 13.4\%$ (здесь и далее после $\pm$ приводится стандартная ошибка средней). Запас валежа первой стадии разложения – от 46 до $326 \text{ м}^3/\text{га}$. До ветровала древостои преимущественно были сформированы елью со средней высотой 25.0–28.0 м и средним диаметром 22.0–34.0 см; запас растущей древесины достигал $425 \text{ м}^3/\text{га}$. Подрост главным образом был представлен елью. Две учетные площадки относятся к ельникам черничным (№ 1 и 2), по одной к ельникам брусничным (№ 3) и ельникам папоротниковым (№ 4).

Таблица 2. Характеристика растущей части древостоя и запаса валежа по стадиям разложения на ветровальных участках

№	Порода	Растущая часть				Запас валежа по стадиям разложения, м³/га					
		Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Сумма площадей сечений, м²/га	Запас, м³/га	I	II	III	IV	V	Итого
1. Чистые и условно-чистые одновозрастные спелые и перестойные ельники в бассейнах рек Сеха и Понга											
1	Ель	28.0	24.0	5.0	65	326	–	–	–	–	326
2	Ель	25.0	22.0	14.0	175	46	–	1	27	7	81
	Береза	25.0	24.0	2.0	25	–	–	–	–	–	–
3	Ель	28.0	34.0	13.0	172	254	23	–	11	–	288
4	Ель	25.0	26.0	2.5	30	121	12	–	20	–	153
	Береза	26.0	28.0	5.5	63	–	–	–	–	–	–
2. Условно-чистые спелые и перестойные березняки и осинники в бассейнах рек Сеха и Лондушка											
5	Осина	28.0	26.0	24.0	289	117	2	22	12	–	153
	Ель	14.0	8.0	2.5	15	40	–	–	7	–	47
	Береза	–	–	–	–	1	–	4	–	–	5
6	Береза	25.0	24.0	20.5	236	53	–	–	–	–	53
	Осина	28.0	24.0	0.5	6	62	–	–	–	–	62
	Ель	15.0	12.0	1.5	10	15	–	–	–	–	15
3. Спелые и перестойные пихто-ельники в бассейне реки Вонюх											
7	Ель	29.0	24.0	12.0	163	33	–	–	–	–	33
	Пихта	25.0	28.0	10.5	127	80	–	–	–	–	80
	Береза	–	–	–	–	2	–	–	–	–	2
4. Разновозрастные сложные ельники липовые на границе с перестойным березняком в бассейне реки Вонюх											
8	Береза	24.0	34.0	14.5	177	138	–	–	–	12	150
	Ель	14.0	12.0	12.5	18	37	1	–	–	–	38
	Липа	–	–	–	–	4	–	–	–	–	4
9	Ель	29.0	28.0	2.0	27	205	2	13	–	–	220
	Липа	24.0	25.0	3.0	34	41	–	–	–	10	51
	Береза	21.0	20.0	2.5	24	7	–	–	–	–	7
	Клен	–	–	–	–	1	–	–	–	–	1
10	Береза	29.0	34.0	4.0	50	72	–	–	–	–	72
	Ель	28.0	36.0	2.0	26	165	44	23	19	4	255
	Липа	18.0	22.0	1.0	9	–	–	–	–	4	4
	Рябина	12.0	10.0	0.5	3	12	–	6	–	–	18
	Вяз	10.0	10.0	0.5	3	–	–	7	–	–	7
	Клен	5.0	6.5	0.5	2	10	–	–	–	–	10
11	Ель	18.3	27.4	2.0	18	–	30	48	24	32	134
	Пихта	12.1	15.5	0.5	3	–	–	–	–	–	–
	Береза	25.1	34.9	2.5	29	–	1	4	–	–	5
	Рябина	10.6	11.8	4.5	25	1	1	–	–	–	1
5. Разновозрастные сложные ельники липовые в бассейне реки Вонюх											
12	Ель	30.0	42.7	6.5	91	106	38	1	51	21	217
	Липа	28.3	53.2	8.0	103	–	–	–	–	–	–
	Береза	26.2	40.8	2.0	23	12	–	–	–	–	12
	Рябина	12.6	15.9	2.5	16	1	–	–	–	–	1
13	Ель	26.2	32.0	5.0	38	81	–	–	31	23	135
	Липа	21.1	24.0	3.0	49	–	–	–	–	–	–

Продолжение Таблицы 2

	Рябина	15.9	12.0	5.0	37	33	5	8	–	–	46
	Береза	–	–	–	–	40	5	–	–	–	45
	Клен	–	–	–	–	1	–	–	–	–	1
14	Ель	18.0	25.3	2.0	18	139	22	3	1	–	165
	Пихта	21.5	24.5	1.0	10	–	–	–	–	–	–
	Липа	26.8	40.6	4.5	41	2	–	–	–	–	2
	Береза	25.9	38.9	7.0	79	17	–	19	–	–	36
	Рябина	–	–	–	–	1	1	3	–	–	5
15	Липа	26.0	31.1	6.5	78	1	–	–	29	–	30
	Ель	23.2	39.8	3.5	39	133	–	14	21	11	180
	Береза	25.0	25.0	1.5	16	8	47	–	–	–	55
	Пихта	21.0	24.0	0.5	5	–	–	–	–	–	–
	Рябина	14.1	14.1	1.0	7	–	–	10	5	–	15
	Клен	–	–	–	–	1	–	–	–	–	1

Поврежденные ураганным ветром **условно-чистые спелые и перестойные березняки и осинники в бассейнах рек Сеха и Лондушка** приурочены к переувлажненным местообитаниям, тип леса – осино-березняк неморально-высокотравный. Средняя интенсивность ветровала – $34.1 \pm 0.1\%$. В условно-чистом березняке (учетная площадь № 4) средняя высота березы составляет 25.0 м, средний диаметр – 24.0 см. До ветровала общий запас древесины оценен в 289 м³/га. Подрост сформирован елью, березой и осинкой. Наиболее подверженными ветровалу оказались осина и береза, для которых запас древесины первой стадии разложения составил 53 и 62 м³/га соответственно. В условно-чистом осиннике (учетная площадь № 3) средняя высота осины составила 28.0 м, средний диаметр – 26.0 см, общий запас до ветровала – 462

м³/га. Запас древесины первой стадии разложения сформирован осинкой (117 м³/га) и елью, составлявшей второй ярус древостоя (40 м³/га). Подрост представлен березой и елью.

В спелых и перестойных пихто-ельниках в бассейне реки Вонюх (учетная площадь № 7) до ветровала наблюдался процесс усыхания деревьев пихты (неопубликованные данные авторов). Тип леса – пихто-ельник бореально-мелкотравно-папоротниковый. Интенсивность ветровала составила 28.4%. Средняя высота ели – 29.0 м, пихты – 25.0 м, средний диаметр ели – 24.0 см, пихты – 28.0 см, общий запас древесины до ветровала – 405 м³/га. Из-за усыхания пихты ее запас (80 м³/га), относящийся к первой стадии разложения, в два раза превышает запас ели (33 м³/га). Подрост представлен елью, пихтой, липой и кленом.

В разновозрастных сложных ельниках липовых на границе с перестойным березняком на старой узколесосечной вырубке в бассейне реки Вонюх

описано 4 учетных площади. Тип леса – сложный ельник липняково-папоротниковый. В этих древостоях, расположенных на границе с вырубкой на узкой лесосеке 1928 года, произошло формирование березового элемента леса. Средняя интенсивность ветровала – $65.6 \pm 7.8\%$. К основным древесным породам, формирующим древостой, относятся ель, береза, липа. Средняя высота верхнего древесного яруса составляет 24.0–29.0 м, средний диаметр – 27.0–34.0 см. На одной учетной площади (№ 11) практически полный распад еловой части древостоя произошел до ветровала, поэтому на ней весь валеж относится ко 2–5 стадиям разложения. На всех учетных площадях подрост, главным образом, представлен елью, пихтой, липой, кленом.

Разновозрастные сложные ельники липовые в бассейне реки Вонюх имеют максимальную давность антропогенных воздействий (главным образом, рубок), приводящих к катастрофическим нарушениям насаждений, среди обследованных древостоев. Тип леса – сложный ельник липняково-папоротниковый.

Средняя интенсивность ветровала – $47.7 \pm 3.0\%$. До ветровала многоярусные древостои формировали ель, липа, единично встречались пихта, береза, клен. Горизонтальная структура насаждений была неоднородная, что связано с наличием вывалов крупномерных деревьев ели. Средняя высота деревьев первого древесного яруса достигала 30 м, средний диаметр 42 см. Основную долю в запасе ветровальной древесины составляла ель, на запас первой стадии разложения которой приходится от 81 до 139 м³/га.

Состав и структура валежной древесины в малонарушенных и одновозрастных древостоях на местах сплошных рубок были различны (табл. 2, рис. 3). Наибольшее разнообразие стадий разложения и древесных пород в составе валежа отмечено в сложных ельниках липовых. Более половины по запасу составлял валеж первой стадии, образовавшийся в результате ветровала, однако значительное участие имели стволы других стадий разложения. В одновозрастных пихто-ельниках, ельниках, березняках и осинниках в структуре валежной древесины преобладали стволы первой стадии разложения, участие других стадий было невелико. Разнообразие породного состава было ниже, чем в малонарушенных лесах.

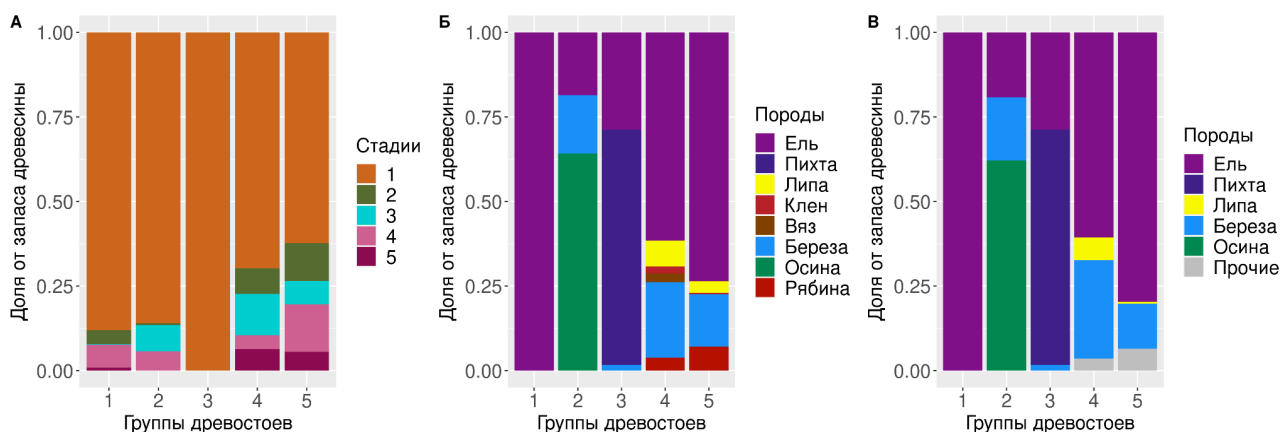


Рисунок 3. Средние показатели характеристик валежа в исследованных группах древостоев. А – запасы древесины по стадиям, Б – породный состав валежа всех стадий разложения, В – породный состав валежа первой стадии разложения. Названия групп см. в табл. 3.

Анализ зависимости запаса валежа первой стадии разложения от запаса растущей части до ветровала по основным группам древесных пород показывает, что в среднем на исследованных трансектах доля ветровальной древесины

ели составила 79%, березы и осины – 34% (рис. 4). Этот результат показывает, что в обследованных насаждениях ель оказалась более подвержена воздействию ураганного ветра по сравнению с мелколиственными породами.

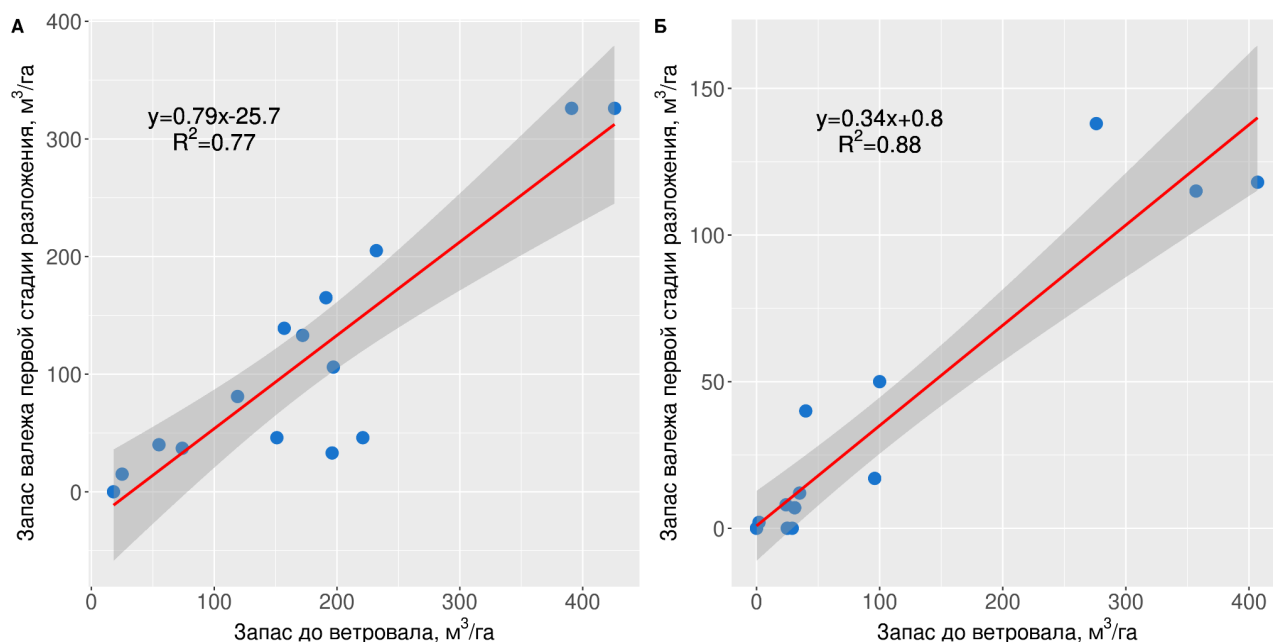


Рисунок 4. Зависимость запаса валежа первой стадии разложения от запаса древостоев до ветровала: А) ель, Б) береза и осина

Таким образом, результаты учетов валежной древесины показали, что в целом на всех учетных площадях в запасе валежа первой стадии разложения преобладают древесные породы, формировавшие до ветровала верхний полог древостоя. Мы предполагаем, что ветроустойчивость древесных пород различалась в малонарушенных и одновозрастных древостоях. Так, в «ядре» заповедника наиболее подвержена ветровалу была ель, береза проявила высокую устойчивость (Ivanova et al., 2024). В мелколиственных древостоях с участием ели (бассейн рек Сеха и Лондушка) запас валежной древесины осины и березы, напротив, был выше, чем запас ели. Вероятно, полученный результат объясняется разной степенью увлажненности исследованных участков. Однако для более надежных выводов требуются дополнительные исследования.

Результаты анализа данных учетов растущей части древесины показали, что после ветровала произошло изменение породного состава смешанных древостоев (рис. 5). Было выяснено, что в чистых и условно-чистых одновозрастных спелых и перестойных ельниках существенных изменений не произошло. В условно-чистых спелых и перестойных

березняках и осинниках запас ели до ветровала не превышал 10%, при падении крупных деревьев березы и осины повреждалась находящаяся под их пологом ель, в результате чего после ветровала ее доля в общем запасе не превышает 5%. В пихто-ельнике перед ветровалом соотношение между елью и пихтой выражалось как 48.4:51.6%, а после воздействия ураганного ветра изменилось до 56.2:43.8%. В разновозрастных сложных ельниках липовых на границе с березняком на старой узколесосечной вырубке после ветровала также произошло увеличение доли березы с $38.7 \pm 14.2\%$ до $49.4 \pm 10.6\%$. В разновозрастных сложных ельниках липовых возросла доля участия липы. До ветровала в запасе древостоя она составляла $16.5 \pm 4.1\%$, после него увеличилась до $31.0 \pm 7.2\%$ на фоне снижения доли участия ели с $50.9 \pm 5.6\%$ до $27.0 \pm 3.2\%$.

Согласно литературным данным, за 40-летний период наблюдений на постоянных пробных площадях в «ядре» заповедника в древостоях коренных ельников происходило увеличение доли широколиственных древесных пород, главным образом, липы (Дубенок и др., 2024). После катастрофического ураганного ветра тенденция к преобладанию липы усилилась. Актуальной задачей на

ближайшие годы станет изучение сукцессионных процессов на поврежденных ветровалом участках.

На наш взгляд, на поврежденных ветровалом участках возможны два основных сценария возобновления древостоев. При первом из них сохраняются устоявшие старовозрастные деревья, появляется большое количество естественного возобновления осины и березы, как это происходит на сплошнолесосечных вырубках на землях лесного фонда Костромской области (Багаев, Чудецкий,

2019). В местах с низкой интенсивностью ветровала формирование естественного возобновления осины может быть ограничено недостаточным освещением под пологом (Чижов и др., 2013). При втором сценарии (новый ветровал, повреждение деревьев насекомыми и грибами) существование сохранившейся части древостоев может завершиться отпадом (из-за ослабления) оставшихся деревьев с появлением пионерных видов (Иванов и др., 2020), что приведет к полному уничтожению разновозрастного насаждения.

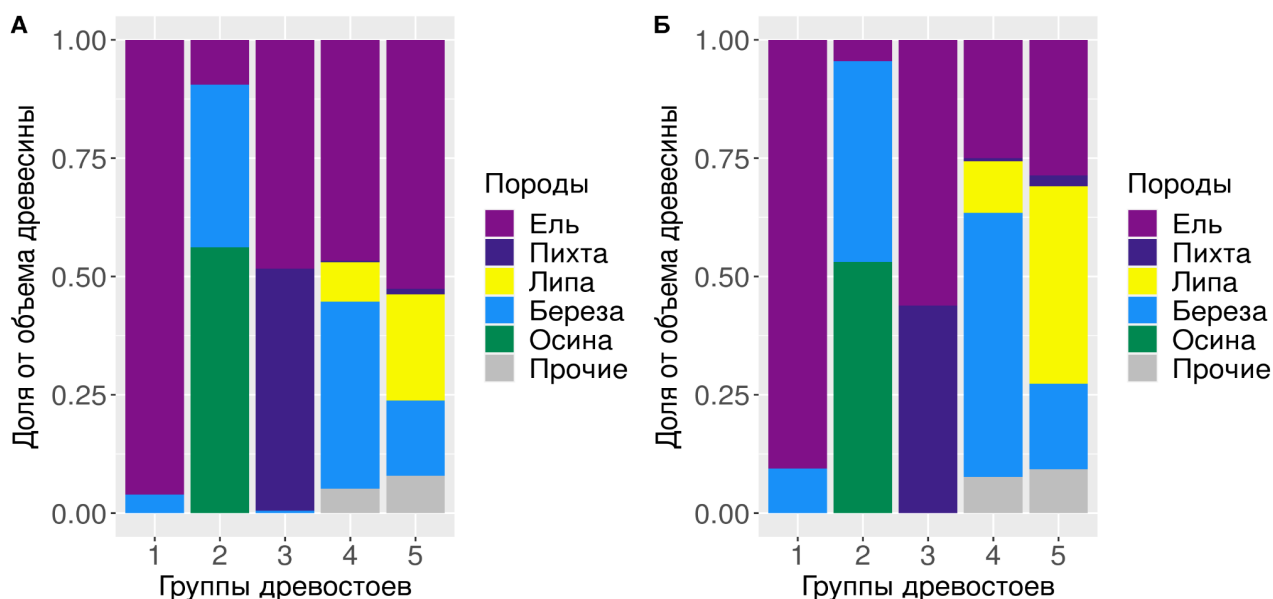


Рисунок 5. Средние показатели соотношения объемов древесины растущей части в исследованных группах древостоев: А – до ветровала, Б – после ветровала. Названия групп см. в табл. 2.

Результаты оценки содержания углерода в валеже представлены в таблице 4. Показано хорошее соответствие оценок, полученных с использованием

разных методик расчетов. Наибольшие запасы углерода отмечены в чистых и условно-чистых одновозрастных спелых и перестойных ельниках в бассейнах рек

Сеха и Понга, где максимальное значение на отдельных участках составило 65.3–68.8 т С/га, что связано с высокой интенсивностью ветровала на них и изначально высокими запасами растущей древесины, а также с заметным преобладанием по сравнению с другими группами древостоев валежа первой стадии

разложения (более 90 %). В группах древостоев, представленных разновозрастными сложными ельниками липовыми с наличием валежа 1 стадии разложения, содержание углерода в валеже выше в расположенных на границе с перестойным березняком (36.5–64.0 т С/га), чем в глубине массива (32.6–52.1 т С/га).

Таблица 4. Оценки содержания углерода в валеже на исследованных трансектах

№	Содержание углерода в валеже, т С/га		
	Методика по: Осипов с соавт., 2024; Бобкова, Кузнецов, 2015	Методика по: Krankina, Harmon, 1995; Замолодчиков с соавт., 2013	Методика по: Капица с соавт., 2012
1. Чистые и условно-чистые одновозрастные спелые и перестойные ельники в бассейнах рек Сеха и Понга			
1	63.4	61.6	60.6
2	12.4	11.6	15.1
3	67.7	65.3	68.8
4	13.0	12.2	16.4
2. Условно-чистые спелые и перестойные березняки и осинники в бассейнах рек Сеха и Лондушка			
5	39.8	41.9	38.1
6	28.9	31.7	24.2
3. Спелые и перестойные пихто-ельники в бассейне реки Вонюх			
7	22.4	21.9	21.4
4. Разновозрастные сложные ельники липовые на границе с перестойным березняком в бассейне реки Вонюх			
8	41.2	44.4	36.5
9	53.6	53.3	51.9
10	59.1	58.5	64.0
11	14.0	12.1	26.2
5. Разновозрастные сложные ельники липовые в бассейне реки Вонюх			
12	34.4	32.6	42.8
13	37.8	38.5	38.3
14	36.8	35.8	38.7
15	43.3	40.8	52.1

Необходимо отметить, что оценки содержания углерода в валеже на массовых ветровалах в литературе единичны. Так, в заповеднике «Калужские засеки» для массового ветровала в осиново-широколиственном лесу с участием дуба, клена, липы и ели, возраст деревьев первого яруса в котором составлял 60–105 лет, получено содержание углерода в валежной древесине 81.4 т/га (Ханина и др., 2023). Полученные в нашей работе результаты показали меньшие значения. Это может быть связано как с различиями в породной, возрастной и пространственной структуре насаждений, так и с отсутствием в литературе сведений о базисной плотности древесины и содержанию углерода в валеже разных стадий разложения для лесов южнотаежной зоны. Фитомасса и плотность древесины определяются географическими условиями (Усольцев, Цепордей, 2023), поэтому важно в подобных расчетах учитывать зональные особенности скорости разложения древесных остатков и массовую концентрацию углерода по стадиям разложения. Также различия в результатах могут быть обусловлены разными подходами, применяемыми к вычислению содержания углерода в валеже.

Доступные в литературе оценки для таежных лесов характеризуют запасы углерода в валеже в отсутствии катастрофических воздействий. В лесах северо-востока Костромской области запасы углерода валежа, оцененные модельными методами, составляют для ели 4.72 ± 1.40 т/га, для березы и осины 7.27 ± 2.63 т/га, в целом по региону – 6.99 ± 1.05 т/га (Замолдчиков и др., 2013). Оценки запасов углерода в таежных лесах Европейской части России имеют сильную изменчивость: старовозрастные леса с естественными воздействиями (ветровалы, буреломы, куртинное усыхание ели) природного парка «Вепсский лес» (Ленинградская область) – 25.0–152.0 т/га, среднее 63.0 т/га (Капица и др., 2023), коренной ельник кисличный, таволговый и болототравной группы с ветровальной динамикой Центрально-лесного заповедника (Тверская область) – 1.8–256.6 т/га (Шорохова, 2020).

Таким образом, рассчитанные нами запасы углерода в валеже после массового ветровала до десяти раз превышают средние оценки для лесов Костромской области. В то же время результаты, полученные для других старовозрастных таежных лесов, показывают, что при есте-

ственной динамике древостоя запасы углерода в валеже могут существенно превышать полученные нами значения. Эти результаты свидетельствуют о том, что для понимания вклада массовых ветровалов в баланс углерода требуются дополнительные натурные исследования, предпочтительно с использованием унифицированных методик.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе впервые получены сведения о составе и структуре валежа после массового ветровала в малонарушенных южнотаежных лесах, а также материалы, дополняющие уже имеющиеся данные по одновозрастным лесам. Результаты исследований выявили высокое разнообразие породного состава и структуры (стадий разложения) валежа в разновозрастных ельниках липовых «ядра» заповедника «Кологривский лес». В одновозрастных пихто-ельниках, ельниках, березняках и осинниках в структуре валежной древесины преобладали стволы первой стадии разложения, обилие стволов других стадий низкое. Лучшую устойчивость к воздействию ураганного ветра проявили береза и осина, наименьшую – ель. В среднем доля ветровальной древесины ели составила 79%,

березы и осины 34% от запаса до ветровала. Наибольшие запасы углерода валежа оценены для чистых и условно-чистых одновозрастных спелых и перестойных ельников в бассейнах рек Сеха и Понга, максимальные значения на отдельных участках достигали 65.3–68.8 тонн С/га. Исследованные лесные участки представляют интерес для дальнейшего изучения постветровальных сукцессий и могут служить модельными объектами для наблюдения за восстановлением лесного покрова в условиях отсутствия хозяйственного воздействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абатуров Ю. Д. Коренные темнохвойные леса южной тайги: резерват «Кологривский лес». М.: Наука, 1988. 218 с.
- Алесенков Ю. М., Андреев Г. В., Поздеев Е. Г., Иванчиков С. В. Постветровальная структура тёмнохвойного древостоя Висимского заповедника // Лесная таксация и лесоустройство. 2008. № 2 (40). С. 43–48.
- Багаев С. С., Чудецкий А. И. Результаты рубок ухода в лиственно-еловых насаждениях Костромской области // Лесохозяйственная информация. 2018. № 1. С. 5–20. DOI: 10.24419/LNI.2304-3083.2018.1.01

- Бобкова К. С., Кузнецов М. А. Запасы крупных древесных остатков в ельниках средней тайги европейского Северо-Востока // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2015. № 2(344). С. 9–21.
- Бобровский М. В., Стаменов М. Н. Влияние катастрофического ветровала 2006 года на структуру и состав лесной растительности заповедника «Калужские засеки» // Лесоведение. 2020. № 6. С. 523–536. DOI: 10.31857/S0024114820050022
- Дубенок Н. Н., Лебедев А. В., Чистяков С. А., Криницын И. Г., Гемонов А. В. Динамика видового состава лесных фитоценозов за 40-летний период в заповеднике «Кологривский лес» // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2024. № 1(74). С. 59–70. DOI: 10.34655/bgsha.2024.74.1.008.
- Журин В. М., Князева С. В., Эйдлина С. П. Особенности восстановления нарушенного лесного покрова в таежных лесах Русской равнины / Разнообразие и динамика лесных экосистем России. Москва: ООО «Товарищество научных изданий КМК», 2012. С. 287–315.
- Загребев В. В., Сухих В. И., Швиденко А. З., Гусев Н. Н., Мошкалева А. Г. Общесоюзные нормативы для таксации лесов. М.: Колос, 1992. 495 с.
- Замолотчиков Д. Г., Грабовский В. И., Каганов В. В. Натурная и модельная оценки углерода валежа в лесах Костромской области // Лесоведение. 2013. № 4. С. 3–11.
- Заугольнова Л. Б., Морозова О. В. Типология и классификация лесов Европейской России: методические подходы и возможности реализации // Лесоведение. 2006. № 1. С. 34–48.
- Иванов А. В., Сало М. А., Бондарчук С. Н., Замолотчиков Д. Г., Могилева А. В., Кочкарина Н. А. Воздействие ветровала на структуру и фитомассу древостоев кедровников и березняков Центрального Сихотэ-Алиня // Лесоведение. 2022. № 2. С. 132–143. DOI: 10.31857/S0024114822020061
- Иванов А. В., Сало М. А., Бондарчук С. Н., Кочкарина Н. А. Воздействие пожара и ветровала на фитоценоз кедрово-широколиственного леса (по данным мониторинга за 60 лет) // Сибирский лесной журнал. 2020. № 5. С. 3–13. DOI: 10.15372/SJFS20200501
- Иванова Н. В., Шашков М. П., Лебедев А. В., Криницын И. Г. Кологривский лес до

и после массового ветровала 2021 года: разведочный анализ по дистанционным данным // Математическое моделирование в экологии: материалы Восьмой Национальной научной конференции. Пущино, Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук, 2023. С. 30–32.

Казенас В. Л., Темрешев И. И., Есенбекова П. А. Обзор санитарного состояния хвойных лесов в местах ветровала в Иле-Алатауском государственном национальном природном парке (Казахстан) в 2011–2015 гг. // Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2016. Т. 1. № 1. С. 23–37. DOI: 10.24189/ncr.2016.003

Капица Е. А., Шорохова М. А., Шорохов А. А., Данилов Г. А., Корепин А. А., Тетюхин С. В. Крупные древесные остатки в лесах с выраженной ветровальной динамикой: роль в формировании пулов и потоков углерода // XV Сибирское совещание и школа молодых ученых по климато-экологическому мониторингу: материалы докладов всероссийской конференции. Томск, Институт мониторинга

климатических и экологических систем Сибирского отделения РАН, 2023. С. 382–385.

Капица, Е. А., Шорохова Е. В., Кузнецов А. А. Пул углерода крупных древесных остатков в коренных лесах северо-запада Русской равнины // Лесоведение. 2012. № 5. С. 36–43.

Крылов А. М., Малахова Е. Г., Владимирова Н. А. Выявление и оценка площадей катастрофических ветровалов 2009–2010 гг. по данным космической съемки // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2012. № 200. С. 197–207.

Курнаев С. Ф. Основные типы леса средней части Русской Равнины. М.: Наука. 1968. 355 с.

Кутявин И. Н., Манов А. В. Биологическая продуктивность естественно развивающегося и нарушенного ветровалом сосняка лишайникового (Республика Коми) // Сибирский лесной журнал. 2019. № 2. С. 53–63. DOI: 10.15372/SJFS20190205

Лебедев А. В., Чистяков С. А. Оценка последствий ветровала 2021 года на территории биосферного резервата «Кологривский лес» // Вклад особо охраняемых природных террито-

рий в экологическую устойчивость регионов: Современное состояние и перспективы. материалы II Всероссийской конференции, приуроченной к 15-летию создания заповедника «Кологривский лес». Кологрив, Государственный природный заповедник «Кологривский лес», 2021. С. 71–77.

Мешкова В. Л., Товстуха А. В., Пивовар Т. С.

Ветровалы и буреломы в сосновых лесах на Северо-востоке Украины // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2013. № 3(19). С. 53–64.

Мочалов С. А. Глобальное изменение климата и проблемы лесной экологии // Известия УрГУ. 2002. № 23. С. 48–53.

Осипов А. Ф., Манов А. В. Оценка потерь органического вещества древостоя при ветровале ельника Южной тайги Республики Коми // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2015. № 1 (36). С. 15–18.

Осипов А. Ф., Манов А. В., Кузнецов М. А., Гуляев Р. Г., Загирова С. В. Запасы углерода крупных древесных остатков в

лесных экосистемах тестового полигона «Ляльский» (средняя тайга, Республика Коми) // Вопросы лесной науки. 2024. Т. 7. № 1. С. 66–89. DOI: 10.31509/2658-607x-202371-143.

Панкова Н. Л., Панков А. Б. О последствиях ветровала 2020 года в Окском заповеднике // Труды Окского государственного природного биосферного заповедника. 2022. Т. 40. С. 187–192. DOI: 10.51856/0130-4623_2022_40_187.

Петухов И. Н. Основные таксационные характеристики поврежденных ураганными ветрами насаждений в подзоне Южной тайги (Костромская область) // Сибирский лесной журнал. 2016. № 4. С. 118–127. DOI: 10.15372/SJFS20160412

Петухов И. Н., Немчинова А. В., Грозовский С. А., Иванова Н. В. Характер и степень повреждения лесных фитохор на участке массового ветровала Костромской области // Вестник Костромского государственного университета им. Н. А. Некрасова. 2011. Т. 17, № 5-6. С. 23–32.

Рекомендации по выделению коренных и производных групп типов леса лесной зоны европейской части РСФСР / Побединский А. В., Лазарев Ю. А.,

- Ханбеков Р. И. и др. М.: ВНИИЛМ, 1982. 40 с.
- Сукачев В. Н. Руководство к исследованию типов леса. М.; Л.: Сельхозгиз, 1930. 318 с.
- Уланова Н. Г. Сравнительный анализ динамики растительности разновозрастного ельника-кисличника, массового ветровала и сплошной вырубке в том же типе леса // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 2004. Т. 109. № 6. С. 64–72.
- Усольцев В. А., Цепордей И. С. Плотность древесины и коры деревьев на климатических градиентах Евразии // Лесоведение. 2023. № 3. С. 217–227. DOI: 10.31857/S0024114823030117
- Филенкова Н. В., Суховольский В. Г., Захаров Ю. В., Овчинникова Н. Ф. Кластерная модель ветроустойчивости деревьев с учетом ближайших соседей // Хвойные бореальной зоны. 2011. Т. 28. № 1–2. С. 91–97.
- Ханина Л. Г., Бобровский М. В., Жмайлов И. В. Динамика растительности и разложение валежа через 14 лет после массового ветровала в широколиственном лесу (заповедник «Калужские засеки») // ЭкоБиоТех 2021: материалы VII Всероссийской конференции. Уфа, Уфимский Институт биологии – обособленное структурное подразделение ФГБУ Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, 2021. С. 212–216.
- Ханина Л. Г., Бобровский М. В., Смирнов В. Э. Динамика запасов биофильных элементов в валеже и почве после массового ветровала в широколиственном лесу на флювиогляциальных песках // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2023. № 62. С. 29–52. DOI: 10.17223/19988591/62/2
- Хорошев А. В., Немчинова А. В., Авданин В. О. Ландшафты и экологическая сеть Костромской области. Ландшафтно-географические основы проектирования экологической сети Костромской области: монография. Кострома: Костромской государственный университет (КГУ), 2013. 428 с.
- Чернов Н. Н. К соотношению естественного и искусственного лесовосстановления на Урале // Леса Урала и хозяйство в них. 2001. Вып. 21. С. 210–219.
- Чижов Б. Е., Санников С. Н., Казанцева М. Н.,

- Глухарева М. В., Номеровских А. В., Аверьянов Д. В. Ценотическая роль осины в лесах Западной Сибири // Лесоведение. 2013. № 2. С. 3–8.
- Широких П. С., Сулейманов Р. Р., Котлугалямова Э. Ю., Мартыненко В. Б. Изменения растительного и почвенного покрова в широколиственных лесах национального парка «Башкирия» после массового ветровала // Известия Уфимского научного центра РАН. 2017. № 3-1. С. 214–220.
- Шихов А. Н., Перминов С. И., Киселева Е. С. Оценка подверженности бореальных лесов Урала воздействию лесных пожаров и ветровалов по многолетним рядам спутниковых наблюдений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 4. С. 87–102. DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-4-87-102
- Шихов А. Н., Чернокульский А. В., Калинин Н. А., Пьянков С. В. Ветровалы в лесной зоне России и условия их возникновения: монография. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2023. 284 с.
- Шорохова Е. В. Запасы и экосистемные функции крупных древесных остатков в таежных лесах: дисс. ... док. биол. наук (спец. 03.02.08). СПб, 2020. 299 с.
- Baumann M., Ozdogan M., Wolter P. T., Krylov A., Vladimirova N., Radeloff V. C. Landsat remote sensing of forest windfall disturbance // Remote Sensing of Environment. 2014. No. 143. P. 171–79. DOI: 10.1016/j.rse.2013.12.020
- Everham E. M., Brokaw N. V. L. Forest damage and Recovery from Catastrophic wind // The botanical review. 1996. Vol. 62, No 2. P. 113–185.
- Forzieri G., Pecchi M., Girardello M., Mauri A., Klaus M., ... & Beck P. S. A. A spatially explicit database of wind disturbances in European forests over the period 2000–2018 // Earth System Science. 2020. No. 12. P. 257–276. DOI: 10.5194/essd-12-257-2020
- Gregow H., Laaksonen A., Alper M. E. Increasing large scale windstorm damage in Western, Central and Northern European forests, 1951–2010 // Scientific Reports. 2017. Vol. 7. Article number 46397.
- Ivanova N. V., Shashkov M. P., Lebedev A. V.,

- Shanin V. N.* Quantitative Analysis of Factors Influencing Damage to Old-Growth Hemiboreal Stands as a Result of a Catastrophic Windthrow, Based on Remote Sensing and Merged Data // *Russian Journal of Ecology*. 2024. Vol. 55. P. 277–284. DOI: 10.1134/S1067413624602008
- Jim C. Y., Liu H. H. T.* Storm damage on urban trees in Guangzhou, China // *Landscape and Urban Planning*. 1997. Vol. 38. No. 1-2. P. 45–59. DOI: 10.1016/S0169-2046(97)00018-2
- Khanina L., Bobrovsky M.* Value of large *Quercus robur* fallen logs in enhancing the species diversity of vascular plants in an old-growth mesic broad-leaved forest in the Central Russian Upland // *Forest Ecology and Management*. 2021. No. 491. Article number 119172. DOI: 10.1016/j.foreco.2021.119172
- Krankina O. N., Harmon M. E.* Dynamics of the dead wood carbon pool in northwestern Russian boreal forests // *Water, Air, and Soil Pollution*. 1995. Vol. 82. P. 227–238. DOI: 10.1007/BF01182836
- Moatti J., Thiébaud S.* The Mediterranean region under climate change. IRD Editions, Marseille, 2016. 736 p. DOI: 10.4000/books.irdeditions.22908
- Patacca M., Lindner M., Lucas-Borja M. E., Cordonnier T., Fidej G., ... & Schelhaas M. J.* Significant increase in natural disturbance impacts on European forests since 1950 // *Global Change Biology*. 2022. DOI: 10.1111/GCB.16531
- Radler T., Groenemeijer P., Faust E., Sausen R., Púčik T.* Frequency of severe thunderstorms across Europe expected to increase in the 21st century due to rising instability // *NPJ Climate and Atmospheric Science*. 2019. Vol. 2. Article number 30.
- Renvall P.* Community structure and dynamics of wood-rotting Basidiomycetes on decomposing conifer trunks in northern Finland // *Karstenia*. 1995. No. 35. P. 1–51. DOI:10.29203/KA.1995.309
- Romagnoli F., Cadei A., Costa M., Marangon D., Pellegrini G., ... & Cavalli R.* Windstorm impacts on European forest-related systems: An interdisciplinary perspective // *Forest Ecology and Management*. 2023. Vol. 541. Article number 121048. DOI: 10.1016/j.foreco.2023.121048
- REFERENCES**
- Abaturov Yu. D., Korennyye temnohvojnye lesa yuzhnoj tajgi: rezervat «Kologrivskij*

- les» (Indigenous dark coniferous forests of the southern taiga: the Kologrivsky Forest Reserve), Moscow: Nauka, 1988, 218 p.
- Alesnikov Yu. M., Andreev G. V., Pozdeev E. G., Ivanchikov S. V., Postvetroval'naya struktura tyomnohvojnogo drevostoya Visimskogo zapovednika (An after fallen structure of dark coniferous stands of Visim State Reserve), *Lesnaya taksaciya i lesoustrojstvo*, 2008, No 2 (40), pp. 43–48.
- Bagaev S. S., Chudeckij A. I., Rezul'taty rubok uhoda v listvenno-elovyh nasazhdeniyah Kostromskoj oblasti (Results of thinning in deciduous-and-spruce stands in the Kostroma region), *Lesohozyajstvennaya informaciya*, 2018, No 1. pp. 5–20, DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2018.1.01
- Baumann M., Ozdogan M., Wolter P. T., Krylov A., Vladimirova N., Radeloff V.C., Landsat remote sensing of forest wind-fall disturbance, *Remote Sensing of Environment*, 2014, No 143, pp. 171–179, DOI: 10.1016/j.rse.2013.12.020
- Bobkova K. S., Kuznecov M. A., Zapasy krupnyh drevesnyh ostatkov v el'nikah srednej tajgi evropejskogo Severo-Vostoka (Stock of Coarse Woody Debris in Spruce Forests of the Middle Taiga in the European North-East), *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal*, 2015, No 2 (344), pp. 9–21.
- Bobrovskij M. V., Stamenov M. N., Vliyanie katastroficheskogo vetrovala 2006 goda na strukturu i sostav lesnoj rastitel'nosti zapovednika «Kaluzhskie zaseki» (An impact of the year 2006 catastrophic windfall on structure and composition of forest vegetation in «Kaluzhskiye zaseki» Natural Reserve), *Lesovedenie*, 2020, No 6, pp. 523–536, DOI: 10.31857/S0024114820050022
- Chernov H. N., K sootnosheniyu estestvennogo i iskusstvennogo lesovosstanovleniya na Urale (On the relationship between natural and artificial reforestation in the Urals), *Lesnaya Urala i hozyajstvo v nih*, 2001, Vol. 21, pp. 210–219.
- Chizhov B. E., Sannikov S. N., Kazanceva M.N., Gluhareva M. V., Nomerovskih A. V., Aver'yanov D. V., Cenoticheskaya rol' osiny v lesah Zapadnoj Sibiri (The cenotic role of aspen forests of Western Siberia), *Lesovedenie*, 2013, No 2, pp. 3–8.
- Dubenok N. N., Lebedev A. V., Chistyakov S. A., Krinicyan I. G., Gemonov A. V., Dinamika vidovogo sostava lesnyh fitocenozov za 40-letnij period v

- zapovednike «Kologrivskij les» (Dynamics of the species composition of forest communities over a 40-year period in the Kologrivsky Forest Nature Reserve), *Vestnik Buryatskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii im. V. R. Filippova*, 2024, No 1(74), pp. 59–70, DOI: 10.34655/bgsha.2024.74.1.008.
- Everham E. M., Brokaw N. V. L., Forest damage and Recovery from Catastrophic wind, *The botanical review*, 1996, Vol. 62, No 2, pp. 113–185.
- Filenkova N. V., Suhovol'skij V. G., Zharov Yu. V., Ovchinnikova N. F., Klaster-naya model' vetroustojchivosti derev'ev s uchetom blizhajshih sosedej (Cluster model of wind resistance of trees taking into account the nearest neighbors), *Hvojnye boreal'noj zony*, 2011, Vol. 28, No 1-2, pp. 91–97.
- Forzieri G., Pecchi M., Girardello M., Mauri A., Klaus M., ... & Beck P.S.A., A spatially explicit database of wind disturbances in European forests over the period 2000–2018, *Earth System Science*, 2020, No 12, pp. 257–276, DOI: 10.5194/essd-12-257-2020
- Gregow H., Laaksonen A., Alper M. E., Increasing large scale windstorm damage in Western, Central and Northern European forests, 1951–2010, *Scientific Reports*, 2017, Vol. 7, Article number 46397.
- Hanina L. G., Bobrovskij M. V., Smirnov V. E., Dinamika zapasov biofil'nyh elementov v valezhe i pochve posle massovogo vetrovala v shirokolistvennom lesu na flyuvioglyacial'nyh peskah (Dynamics of element stocks in deadwood and soil after a mass windthrow in a broad-leaved forest on sandy soils), *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya*, 2023, No 62, pp. 29–52, DOI: 10.17223/19988591/62/2
- Hanina L. G., Bobrovskij M. V., Zhmajlov I. V., Dinamika rastitel'nosti i razlozhenie valezha cherez 14 let posle massovogo vetrovala v shirokolistvennom lesu (zapovednik «Kaluzhskie zaseki») (Vegetation dynamics and dead wood decomposition 14 years after a mass windthrow in a broad-leaved forest (Kaluzhskie Zaseki State Nature Reserve)), *EcoBioTech 2021: Proceedings of the VII All-Russian Conference*, Ufa, Ufimskij Institut biologii, 2021, pp. 212–216.
- Horoshev A. V., Nemchinova A. V., Avdantin V. O., *Landshafty i ekologicheskaya set' Kostromskoj oblasti. Landshaftno-geograficheskie osnovy proektirovaniya*

ekologicheskoy seti Kostromskoj oblasti: monografiya (Landscapes and ecological network of the Kostroma region. Landscape-geographical bases for designing the ecological network of the Kostroma region), Kostroma: KGU, 2013, 428 p.

Ivanov A. V., Salo M. A., Bondarchuk S. N., Kochkarina N. A., Vozdejstvie pozhara i vetrovala na fitocenoz kedrovo-shirokolistvennogo lesa (po dannym monitoringa za 60 let) (Impact of wildfire and windfall on phytocenosis of stone pine-broad-leaved forest (by the data of 60-years monitoring)), *Sibirskij lesnoj zhurnal*, 2020, No 5, pp. 3–13, DOI: 10.15372/SJFS20200501

Ivanov A. V., Salo M. A., Bondarchuk S. N., Zamolodchikov D. G., Mogileva A. V., Kochkarina N. A., Vozdejstvie vetrovala na strukturu i fitomassu drevostoev kedrovnikov i bereznyakov Central'nogo Sikhote-Alinya (Windfall's impact on structure and phytomass of the siberian pine and birch forests of the Central Sikhote-alin), *Lesovedenie*, 2022, No 2, pp. 132–143, DOI: 10.31857/S0024114822020061

Ivanova N. V., Shashkov M. P., Lebedev A. V., Krinicyan I. G., Kologrivskij les do i posle massovogo vetrovala 2021 goda:

razvedochnyj analiz po distancionnym dannym (Kologrivsky forest before and after the massive windfall of 2021: exploratory analysis using remote sensing data) *Mathematical modeling in ecology: Proceedings of the Eighth National Scientific Conference, Pushchino, Institut fiziko-himicheskikh i biologicheskikh problem pochvovedeniya Rossijskoj akademii nauk*, 2023, pp. 30–32.

Ivanova N. V., Shashkov M. P., Lebedev A. V., Shanin V. N., Quantitative Analysis of Factors Influencing Damage to Old-Growth Hemiboreal Stands as a Result of a Catastrophic Windthrow, Based on Remote Sensing and Merged Data, *Russian Journal of Ecology*, 2024, Vol. 55, pp. 277–284, DOI: 10.1134/S1067413624602008

Jim C. Y., Liu H. H. T., Storm damage on urban trees in Guangzhou, China, *Landscape and Urban Planning*, 1997, Vol. 38, No 1-2, pp. 45–59, DOI: 10.1016/S0169-2046(97)00018-2

Kapica E. A., Shorohova E. V., Kuznecov A. A. Pul ugleroda krupnyh drevesnyh ostatkov v korennyh lesah severozapada Russkoj ravнины (Carbon pool of large wood residues in native forests of the northwestern Russian

- plain), *Lesovedenie*, 2012, No 5, pp. 36–43.
- Kapica E. A., Shorohova M. A., Shorohov A. A., Danilov G. A., Korepin A. A., Tetyuhin S. V. Krupnye drevesnye ostatki v lesah s vyrazhennoj vetroval'noj dinamikoj: rol' v formirovanii pulov i potokov ugleroda (Large woody debris in forests with pronounced windfall dynamics: role in the formation of carbon pools and fluxes), *XV Siberian Conference and School of Young Scientists on Climate and Ecological Monitoring: Proceedings of the Reports of the All-Russian Conference*, Tomsk, Institut monitoringa klimaticheskikh i ekologicheskikh sistem Sibirskogo otdeleniya RAN, 2023, pp. 382–385.
- Kazenas V. L., Temreshev I. I., Esenbekova P. A., Obzor sanitarnogo sostoyaniya hvojnyh lesov v mestah vetrovala v Ile-Alatau gosudarstvennom nacional'nom prirodnom parke (Kazakhstan) v 2011-2015 gg (Review of the sanitary condition of coniferous forests in windfall areas in the Ile-Alatau State National Nature Park (Kazakhstan) in 2011-2015), *Nature Conservation Research. Zapovednaya nauka*, 2016, Vol. 1, No 1, pp. 23–37, DOI: 10.24189/ncr.2016.003
- Khanina L., Bobrovsky M., Value of large *Quercus robur* fallen logs in enhancing the species diversity of vascular plants in an old-growth mesic broad-leaved forest in the Central Russian Upland, *Forest Ecology and Management*, 2021, No 491, Article number 119172, DOI: 10.1016/j.foreco.2021.119172.
- Krankina O. N., Harmon M. E., Dynamics of the dead wood carbon pool in northwestern Russian boreal forests, *Water, Air, and Soil Pollution*, 1995, Vol. 82, pp. 227–238, DOI: 10.1007/BF01182836
- Krylov A. M., Malahova E. G., Vladimirova N. A., Vyyavlenie i ocenka ploshchadej katastroficheskikh vetrovalov 2009–2010 gg. po dannym kosmicheskoy s"emki (Identification and assessment of forest areas damaged by windfalls in 2009–2010 by means of remote sensing), *Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii*, 2012, No 200, pp. 197–207.
- Kurnaev S. F., *Osnovnye tipy lesa srednej chasti Russkoj Ravniny* (The Main Forest Types in the Middle Part of the Russian Plain), Moscow: Nauka, 1968, 355 p.
- Kutyavin I. N., Manov A. V., Biologicheskaya produktivnost' estestvenno razvivayushchegosya i narushennogo vetrovalom sosnyaka lishajnikovogo

- (Respublika Komi) (Biological Productivity of the Naturally Developing and Disturbed by Windfall Lichen Pine Forest (Komi Republic)), *Sibirskij lesnoj zhurnal*, 2019, No 2, pp. 53–63, DOI: 10.15372/SJFS20190205
- Lebedev A. V., Chistyakov S. A., Ocenka posledstvij vetrovala 2021 goda na territorii biosfernogo rezervata «Kologrivskij les» (Assessment of the impact of the wind of 2021 on the Kologrivsky forest biosphere reserve), *Contribution of specially protected natural areas to the ecological sustainability of regions: Current status and prospects: materials of the II All-Russian conference dedicated to the 15th anniversary of the establishment of the Kologrivsky Forest Reserve, Kologriv, Gosudarstvennyj prirodnyj zapovednik «Kologrivskij les», 2021*, pp. 71–77.
- Meshkova V. L., Tovstuha A. V., Pivovarov T. S., Vetrovaly i burelomy v sosnovykh lesakh na Severo-vostoke Ukrainy (Windfalls and windbreaks in pine forests of the North-Eastern Ukraine), *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Lesnaya Ekologiya. Prirodopol'zovanie*, 2013, No 3(19), pp. 53–64.
- Moatti J., Thiébault S., The Mediterranean region under climate change, *IRD Editions, Marseille*, 2016, 736 p., DOI: 10.4000/books.irdeditions.22908
- Mochalov S. A., Global'noe izmenenie klimata i problemy lesnoj ekologii (Global climate change and forest ecology problems), *Izvestiya UrGU*, 2002, No 23, pp. 48–53.
- Osipov A. F., Manov A. V., Kuznecov M. A., Gulyaev R. G., Zagirova S. V., Zapasy ugleroda krupnykh drevesnykh ostatkov v lesnykh ekosistemah testovogo poligona «Lyal'skij» (srednyaya tajga, Respublika Komi) (Carbon stocks of coarse woody debris in forest ecosystems of the Lyalsky test site (middle taiga, Komi Republic)), *Voprosy lesnoj nauki*, 2024, Vol. 7, No 1, pp. 66–89, DOI: 10.31509/2658-607x-202371-143
- Osipov A. F., Manov A. V., Ocenka poter' organicheskogo veshchestva drevostoya pri vetrovale el'nika yuzhnoj tajgi Respubliki Komi (Estimation of organic matter loss in a stand of spruce trees induced by windfalls in the southern taiga of the Komi Republic), *Izvestiya Altajskogo otdeleniya Russkogo geograficheskogo obshchestva*, 2015, No 1(36), pp. 15–18.

- Pankova N. L., Pankov A. B., O posledstviyah vetrovala 2020 goda v Okskom zapovednike (On the consequences of the 2020 windfall in the Oka Reserve), *Works of the Oka State Nature Biosphere Reserve*, 2022, Vol. 40, pp. 187–192, DOI: 10.51856/0130-4623_2022_40_187
- Patacca M., Lindner M., Lucas-Borja M. E., Cordonnier T., Fidej G., ... & Schelhaas M. J., Significant increase in natural disturbance impacts on European forests since 1950, *Global Change Biology*, 2022, DOI: 10.1111/GCB.16531
- Petuhov I. N., Nemchinova A. V., Grozovskij S. A., Ivanova N. V., Harakter i stepen' povrezhdeniya lesnyh fitohor na uchastke massovogo vetrovala Kostromskoj oblasti (Forest phytochores disturbance character and degree on Kostroma region mass windfall site), *Vestnik Kostromskogo gosudarstvennogo universiteta im. N. A. Nekrasova*, 2011, Vol. 17, No- 5-6, pp. 23–32.
- Petuhov I. N., Osnovnye taksacionnye harakteristiki povrezhdennyh uragannymi vetrami nasazhdenij v podzone Yuzhnoj tajgi (Kostromskaya oblast') (the main forest inventory characteristics of the stands damaged by hurricane winds in the Southern Taiga subzone (Kostroma oblast)), *Sibirskij lesnoj zhurnal*, 2016, No 4, pp. 118–127, DOI: 10.15372/SJFS20160412
- Pobedinskij A. V., Lazarev Yu. A., Hanbekov R. I., Orlov A. Ya., Abaturov Yu. D., *Rekomendacii po vydeleniyu korennyh i proizvodnyh grupp tipov lesa lesnoj zony evropejskoj chasti RSFSR* (Recommendations for the identification of indigenous and derivative groups of forest types in the forest zone of the European part of the RSFSR), Moscow: VNIILM, 1982, 40 p.
- Radler T., Groenemeijer P., Faust E., Sausen R., Púčik T., Frequency of severe thunderstorms across Europe expected to increase in the 21st century due to rising instability, *NPJ Climate and Atmospheric Science*, 2019, Vol. 2, Article number 30.
- Renvall P., Community structure and dynamics of wood-rotting Basidiomycetes on decomposing conifer trunks in northern Finland, *Karstenia*, 1995, No 35, pp. 1–51, DOI:10.29203/KA.1995.309
- Romagnoli F., Cadei A., Costa M., Marangon D., Pellegrini G., ... & Cavalli R., Windstorm impacts on European forest-related systems: An interdisciplinary perspective, *Forest Ecology and Management*, 2023, Vol. 541, Article

number 121048, DOI: 10.1016/j.
foreco.2023.121048

Shihov A. N., Chernokul'skij A. V., Kalinin N.

A., P'yankov S. V., *Vetrovaly v lesnoj zone Rossii i usloviya ih vzniknoveniya* (Windfalls in the Forest Zone of Russia and the Conditions of Their Occurrence), Perm': Permskij gosudarstvennyj nacional'nyj issledovatel'skij universitet, 2023, 284 p.

Shihov A. N., Perminov S. I., Kiseleva E. S.,

Ocenka podverzhennosti boreal'nyh lesov Urala vozdejstviyu lesnyh pozharov i vetrovalov po mnogoletnim ryadam sputnikovyh nablyudenij (Assessment of boreal forests vulnerability to fire and wind-induced disturbances from long-term series of satellite observations within the Urals region), *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2017, Vol. 14, No 4, pp. 87–102, DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-4-87-102

Shirokih P. S., Sulejmanov R. R., Kotluga-

lamova E. Yu., Martynenko V. B., *Izmeneniya rastitel'nogo i pochvennogo pokrova v shirokolistvennyh lesah nacional'nogo parka «Bashkiriya» posle massovogo vetrovala* (Changes in the vegetation and soil cover after the windfall in the broad-leaved forest

of the national park «Bashkiria»), *Izvestiya Ufimskogo nauchnogo centra RAN*, 2017, No 3-1, pp. 214–220.

Shorohova E. V., *Zapasy i ekosistemnye funkcii krupnyh drevesnyh ostatkov v taezhnyh lesah* Diss. ... dok. biol. nauk (Stocks and ecosystem functions of large woody debris in taiga forests. Doctor biol. sci. thesis), Saint-Petersburg, 2020, 299 p.

Sukachev V. N., *Rukovodstvo k issledovaniyu*

tipov lesa (A Guide to Researching Forest Types), Moscow, Leningrad: Sel'hozgiz, 1930, 318 p.

Ulanova N. G., *Sravnitel'nyj analiz dinamiki*

rastitel'nosti raznovozrastnogo el'nika-kislichnika, massovogo vetrovala i sploshnoj vyrubki v tom zhe tipe lesa (Comparative analysis of vegetation dynamics in uneven-aged spruce oxalis-type forest, catastrophic windthrow and clear-cutting areas in the same forest type), *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytatelej prirody. Otdel biologicheskij*, 2004, Vol. 109, No 6, pp. 64–72.

Usol'cev V. A., Cepordej I. S., *Plotnost' drevesiny i kory derev'ev na klimaticheskikh*

gradientah Evrazii (Density of tree wood and bark in climatic gradients of Eurasia), *Lesovedenie*, 2023, No 3, pp.

217–227, DOI: 10.31857/S00241148
23030117

Zagreev V. V., Suhii V. I., Shvidenko A. Z.,
Gusev N. N., Moshkalev A. G., *Obshche-
soyuznye normativy dlya taksacii lesov*
(All-Union standards for forest Taxa-
tion), Moscow: Kolos, 1992, 495 p.

Zamolodchikov D. G., Grabovskij V. I., Ka-
ganov V. V., *Naturnaya i model'naya
ocenki ugleroda valezha v lesah Ko-
stromskoj oblasti* (Natural and model
assessment of carbon pool in slash of
forests in Kostroma region), *Leso-
vedenie*, 2013, No 4, pp. 3–11.

Zaugol'nova L. B., Morozova O. V., *Tipologiya
i klassifikaciya lesov Evropejskoj*

Rossii: metodicheskie podhody i
vozmozhnosti realizacii (Typology
and classification of European Russian
Forests: methodological approaches
and potentialities of their realization),
Lesovedenie, 2006, No 1, pp. 34–48.

Zhirin V. M., Knyazeva S. V., Ejdlina S. P., *Oso-
bennosti vosstanovleniya narushenno-
go lesnogo pokrova v taezhnyh lesah
Russkoj ravniny* (Features of disturbed
forest cover rehabilitation in taiga for-
ests of the Russian plain) [in:] *Raz-
noobrazie i dinamika lesnyh ekosistem
Rossii* (Diversity and dynamics of for-
est ecosystems in Russia), Moscow:
KMK, 2012, pp. 287–315.

SPECIES COMPOSITION, STRUCTURE AND CARBON STOCKS OF DEADWOOD OF THE «KOLOGRIVSKY LES» NATURE RESERVE FORESTS AFTER THE CATASTROPHIC WINDTHROW OF 2021

**A. V. Lebedev^{1,2}, N. V. Ivanova³, D. Yu. Gosteva¹, V. V. Gostev¹, I. G. Krinitsyn^{2,4},
M. P. Shashkov⁵**

*¹Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy
Russia, 12742 Moscow, Timiryazevskaya, 49*

*²Kologrivsky Forest State Nature Reserve
Russia, 157440 Kostroma region, Kologriv, Nekrasova st., 48*

*³Institute of Mathematical Problems of Biology, Branch of Keldysh Institute of Applied Mathematics, Russian Academy of Sciences
Russia, 142290 Moscow region, Pushchino, Prof. Vitkevich st., 1*

*⁴Center for International Cooperation of the Ministry of Education of the Russian Federation
Russia, 115093 Moscow, Bolshaya Serpukhovskaya st., 25, 14*

*⁵Karaganda Buketov University
Kazakhstan, 100024 Karaganda, Universitetskaya st., 28*

Received: 22.12.2024

Revised: 04.02.2025

Accepted: 14.03.2025

Catastrophic windthrows lead to dramatic damages in the structure of forest stands, the consequences of which are complex and long-term in scope. The aim of the study was to assess changes in carbon stocks of deadwood and the structure of even-aged and uneven-aged old-growth forest stands in the Kologrivsky Forest Nature Reserve after the storm of 2021 using ground-based data. A total of 15 sample plots were established on areas of different wind damages in the Kologrivsky cluster of the Reserve in July 2022 to evaluate the storm impact on

forest stands. A visual forest inventory was carried out to estimate the growing part of the stand that survived the catastrophic impact. The fallen fraction of the stand was studied on transects in the same sample plots. The trunk diameter of each deadwood trunk was measured, the species was identified, and the decomposition stage was assessed during this survey. Three different ways for the deadwood carbon stock evaluation on transects were used. These methods were based on the basic wood density at different stages of decomposition and how the carbon content in deadwood changes with its volume. The greatest diversity of decomposition stages and tree species diversity in the deadwood were found in mixed linden-spruce stands. Trunks of the first decomposition stage were dominated in structure of deadwood in the even-aged fir-spruce, spruce, birch, and aspen stands, while the fraction of other stages was relatively low. Birch and aspen showed the highest resistance to storm winds, while spruce was less resistant. The proportion of windfall spruce deadwood was 79%, and birch and aspen were 34% of the stock on average before the windthrow. The largest carbon stock in deadwood was found in pure and near-pure even-aged mature and overmature spruce stands in the Sekha and Ponga river basins, reaching 65.3–68.8 tonnes C per ha in some areas.

Keywords: *successions, southern taiga, uneven-aged and even-aged forest stands, stages of deadwood decomposition*

Рецензент: д.б.н., доцент, в.н.с. Бобровский М. В.