

УДК 630*182.58:[630*421+528.7](470.1/.6)

ОСНОВНЫЕ ТАКСАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВРЕЖДЕННЫХ УРАГАННЫМИ ВЕТРАМИ НАСАЖДЕНИЙ В ПОДЗОНЕ ЮЖНОЙ ТАЙГИ (КОСТРОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)

И. Н. Петухов

Костромской государственной университет им. Н. А. Некрасова
156961, Кострома, ул. 1 Мая, 14

E-mail: xen8787@mail.ru

Поступила в редакцию 20.10.2015 г.

В июне и июле 2010 г. на территории Ярославской, Вологодской и Костромской областей в результате воздействия нескольких ураганных ветров зафиксированы обширные нарушения лесного покрова в виде ветровалов и буреломов (Крылов и др., 2012; Potapov et al., 2014). Проведенный ретроспективный анализ данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) за период 1984–2011 гг. показал, что среди 21 выделенного массового ветровала в пределах Костромской области и приграничных территорий ветровал июля 2010 г. уникален по величине суммарной площади нарушения лесного покрова. По нашим оценкам, его площадь составила более 60 тыс. га, что в 4 раза превосходит среднюю ежегодную площадь сплошных вырубок на территории Костромской области (Петухов, Немчинова, 2014). Кроме определения площадей ветровальных нарушений лесного покрова важно представлять состав и структуру поврежденных насаждений. На базе данных лесоустройства и ДЗЗ выполнен анализ таксационных характеристик лесных насаждений, пострадавших в результате воздействия нескольких ураганных ветров на территории Костромской области. В ходе анализа не выявлены связи между степенью (вероятностью) повреждения лесных насаждений и полнотой, типом леса, а также бонитетом. Для параметров насаждения – возраста, высоты, а в ряде случаев и преобладающей породы – обнаружена некоторая закономерность вероятности повреждения ураганным ветром. Насаждения с преобладанием ели в древостое показали себя несколько менее, а с преобладанием березы – более устойчивыми к воздействию ураганных ветров по сравнению с другими лесообразующими породами. Выборочность нарушения также наблюдается для древостоев возрастом более 40 лет и высотой более 16 м, что, возможно, связано с морфофизиологическими особенностями деревьев данного возраста и высоты.

Ключевые слова: массовый (катастрофический) ветровал, данные лесоустройства, данные дистанционного зондирования Земли, подзона южной тайги, Костромская область.

DOI: 10.15372/SJFS20160412

ВВЕДЕНИЕ

Долгое время в лесной экологии, лесоведении и лесоводстве считалось, что основные факторы нарушения лесного покрова в лесах бореальной зоны – сплошные рубки, лесные пожары и вспышки численности энтомофитовредителей. Однако современные исследователи лесного покрова на основе анализа данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) отмечают, что к этим факторам следует отнести воздействие ветров ураганной силы, приводящих к образованию массовых ветровалов и буреломов (Крылов и др., 2012; Ветров, Шихов, 2013; Hansen et al.,

2013; Шихов, 2013; Петухов, Немчинова, 2014; Potapov et al., 2014). Термин *ветровал* в данной работе используется в широком смысле, включающем весь диапазон возможных первопричин вывала или слома дерева. В более узком смысле термин ветровал (*буревал, вывал*) означает выворачивание деревьев вместе с их корневой системой и комом земли, прилегающим к корням. Термином *бурелом (ветролом)* в практике лесоведения и лесоводства принято называть участки леса, на которых деревья сломаны на различных высотах в результате воздействия сильного ветра (Мелехов, 1980). *Массовым (катастрофическим) ветровалом* в отличие от единичных

и групповых вывалов деревьев в лесной экологии и лесоведении считают относительно крупные разрушения древесного яруса насаждений, выходящие за рамки внутробиогеоценотического процесса (Скворцова и др., 1983; Восточно-европейские леса..., 2004), т. е. приводящие к существенным трансформациям состава и структуры растительных сообществ.

География распространения массовых ветровалов довольно обширна и, как показали наблюдения, включает в себя любую территорию, покрытую лесом: прибрежные, горные и равнинные леса. Однако в большинстве сводок, посвященных данному явлению (Белов, 1983; Рожков, Козак, 1989; Аэрокосмический мониторинг..., 1991; Рыльков, 2012), акцент делается преимущественно на оценке ущерба, выраженного в площадях и объемах ветровальной, буреломной древесины, и практически не анализируются структура ветровальных нарушений лесного покрова, а также качественные характеристики поврежденных насаждений. Эти знания позволили бы ответить на ряд важных вопросов: о вкладе ветровалов в становление и развитие лесного покрова бореальной зоны на уровне как целых лесных массивов, так и конкретных насаждений с определенным видовым составом, возрастной структурой, продуктивностью, типом лесорастительных условий; о предрасположенности насаждений к повреждению ветром; о мерах по созданию более ветроустойчивых лесных насаждений; о возможности разработки мероприятий по увеличению устойчивости лесов и т. д.

Цель работы – оценка таксационных параметров древостоев в пострадавших насаждениях в разрезе лесных выделов на основе данных лесоустройства и ДЗЗ.

Для достижения поставленной цели выполнены следующие задачи:

- 1) выделение площадей массовых ветровалов по данным ДЗЗ;
- 2) создание векторной основы и единой базы данных описаний на основе лесоустроительных данных для площадей массовых ветровалов;
- 3) анализ таксационных данных поврежденных и неповрежденных лесных насаждений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Первая задача по выделению постветровальных территорий на основе данных ДЗЗ выполнена в ходе ретроспективного анализа разновременных спутниковых снимков серии Landsat TM/ETM+ (разрешением 30 м/пиксель) с соот-

ветствующим пространственным и временным охватом (Петухов, Немчинова, 2014). По снимкам сверхвысокого пространственного разрешения методами визуального дешифрирования уточняли контуры массовых ветровалов, а также выявляли новые относительно мелкие фрагменты ветровальных нарушений (рис. 1).

Основными отличительными признаками подобных нарушений считали наличие лежащих стволов деревьев, а также отсутствие прямых углов, характерных для сплошных вырубок, и относительно «плавных» границ нарушений, характерных для лесных гарей.

Для выполнения второй задачи использовали лесоустроительные данные: планы лесонасаждений и таксационные описания на территорию нескольких массовых ветровалов (табл. 1).

Предварительно планы лесонасаждений подвергались следующей обработке:

- перенос с бумажного носителя в цифровой (растровый) формат (сканирование);
- привязка растрового изображения к местности по характерным точкам (полиномом 2-й степени в специальном модуле программы QGIS 2.5);
- векторизация привязанного растрового изображения в программе QGIS 2.5;
- импорт векторных слоев в реляционную базу данных PostgreSQL 8.4 с поддержкой географических объектов – PostGIS 1.9.0 при помощи специального модуля загрузки в программе QGIS 2.5.

Также выполнена обработка таксационных описаний, заключающаяся в переносе данных с бумажных носителей и крупномасштабных электронных таблиц в соответствующие таблицы БД PostgreSQL 8.4. Совмещение распределенных в пространстве объектов (лесных выделов) и таксационных характеристик в одной БД благодаря относительно гибкому языку запросов (SQL) позволяет относительно быстро извлекать различные группы данных для их последующего многостороннего анализа.

Наложение (совмещение) контуров ветровальных нарушений на векторные слои планов лесонасаждений позволило выделить фрагменты пострадавших лесных выделов и провести анализ их таксационных характеристик.

Ввиду отсутствия у авторов работы доступа к полному объему данных лесоустройства на всю территорию Костромской области исследование ограничено территорией семи массовых ветровалов (см. табл. 1). Перечень рассмотренных ветровальных нарушений лесного покрова



Рис. 1. Фрагмент снимка QuickBird (разрешение 2.4 м/пиксель) с выделенным участком массового ветровала: красный контур – по снимку Landsat TM, черный – по снимку QuickBird.

Таблица 1. Основные характеристики проанализированных массовых ветровалов на территории Костромской области

Порядковый номер массового ветровала						
1	2	3	4	5	6	7
<i>Пострадавшие лесничества</i>						
Кологривское	Нейское, Кологривское, Межевское	Октябрьское	Кологривское	Парфеньев- ское	Судиславское, Островское	Солигаличское, Буйское
<i>Год (период) нарушения</i>						
1987	2002	2007	2007–2009	2009–2010	Июнь 2010	Июль 2010
<i>Общая протяженность, км</i>						
32	50	20	2	7	70	240
<i>Фактическая площадь*, га</i>						
1127.0	892.3	191.2	232.4	102.9	4894.9	60424.7
<i>Учтенная площадь**, га</i>						
718.8	613.6	73.6	229.9	85.9	3334.8	1313.4
<i>Доля площади, учтенной имеющимися данными лесоустройства, %</i>						
63.8	68.8	38.5	98.9	83.5	68.1	2.2

Примечание. *Фактическая площадь массовых ветровалов, попавшая в заданный охват исследования (Петухов, Немчинова, 2014) и скорректированная по снимкам более высокого пространственного разрешения. **Площадь массовых ветровалов, охваченная лесоустроительными данными.

представлен с указанием фактической площади ветровала (общей площади массового ветровала, оцененной по данным ДЗЗ) и проанализированной, на которую имеются данные лесоустройства. Отметим, что ветровальные площади не

всегда полностью охватываются имеющимися данными лесоустройства; так, для ветровала № 7 площадь покрытия составляет около 2 %, однако в абсолютных значениях это довольно значительные площади, требующие учета и анализа.

Таблица 2. Значения коэффициентов перед переменными в логистической модели

Лесничество	Параметр							
	Возраст	Высота	Бонитет	Полнота	Преобладающая порода			
					Б	Е	Ос	С
Кологривское	0.005	0.041	0.059	-0.022	-0.753	0.481	-2.019	0.524
Нейское, Кологривское, Межевское	0.022	0.088	-0.533	0.226	-0.535	-0.417	-1.311	-0.278
Октябрьское	0.012	0.104	0.173	-3.668	-1.750	0.688	0.517	-14.826
Кологривское	0.026	0.105	0.658	-4.104	-1.617	0.946	0.701	-12.949
Парфеньевское	0.017	0.070	0.248	-2.301	-2.077	1.079	-0.488	-1.324
Судиславское, Островское	0.018	0.083	-0.148	0.013	-12.566	11.860	11.750	12.134
Солигаличское, Буйское	0.028	0.110	-0.133	-0.838	-1.702	0.520	0.889	-0.120

Примечание. Жирным шрифтом и курсивом выделены статистически значимые величины при $p < 0.05$ и $p < 0.10$ соответственно.

Статистическая обработка данных осуществлялась с помощью логистической модели в среде статистического программирования R (R Core Team, R, 2012). Использование данной модели позволяет оценить влияние таксационных характеристик (количественных и качественных) на выходной параметр (вероятность повреждения ветром). Также логистическая модель, в отличие от других статистических методов, не накладывает ограничений на входные данные: например, не требуется нормальность распределения и т. д.

Оценку статистической значимости проводили отдельно для каждого рассматриваемого параметра (таксационной характеристики), что является некоторым упрощением, так как известно, что вероятность повреждения ветром зависит от совместного действия множества факторов (Скворцова и др., 1983). Однако такой упрощенный подход позволяет обнаружить основные тенденции влияния рассматриваемых таксационных характеристик (входные параметры) на возможность нарушения насаждений ветром (выходной параметр).

В качестве выборки использовали серии случайно заложенных точек по территориям исследования. Каждой точке присваивали атрибуты лесного выдела (таксационные характеристики), которому она принадлежит. Также отдельно указывали, принадлежит ли точка фрагменту массового ветровала. Таким образом, серии точек представляли собой репрезентативную выборку таксационных характеристик насаждений (в том числе поврежденных) рассматриваемой территории.

Интерпретацию результатов статистического анализа осуществляли следующим образом:

приведенные в таблице положительные значения коэффициентов свидетельствуют о росте вероятности нарушения при увеличении данной переменной (для количественных данных) или при переходе переменной к данной категории (для качественных данных), отрицательные коэффициенты свидетельствуют об обратной зависимости (табл. 2).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе выполнения первой задачи данного исследования на основе ретроспективного анализа данных ДЗЗ на территории Костромской области, а также на сопредельных территориях выделен 21 массовый ветровал. Обнаруженные массовые ветровалы различаются по площади (от 191.2 до 60 424.7 га), протяженности (от 2 до 240 км), характеру нарушения лесного покрова (линейный и линейно-веерный), направлению ураганного ветра и прочим характеристикам (Петухов, 2011; Петухов, Немчинова, 2011, 2014).

Составленная в ходе первого этапа исследования картосхема ветровальных нарушений лесного покрова послужила основой для выполнения второй и третьей задач данной работы. Из всей совокупности ветровальных нарушений выбрали и проанализировали площади семи массовых ветровалов, находящиеся в границах Костромской области. Анализ таксационных данных фрагментов поврежденных насаждений проводили в совокупности с анализом обобщенных данных о лесных выделах, расположенных в пострадавших кварталах до нарушения. Сравнение изучаемых параметров (характеристик) объектов на уровне как фрагментов поврежден-

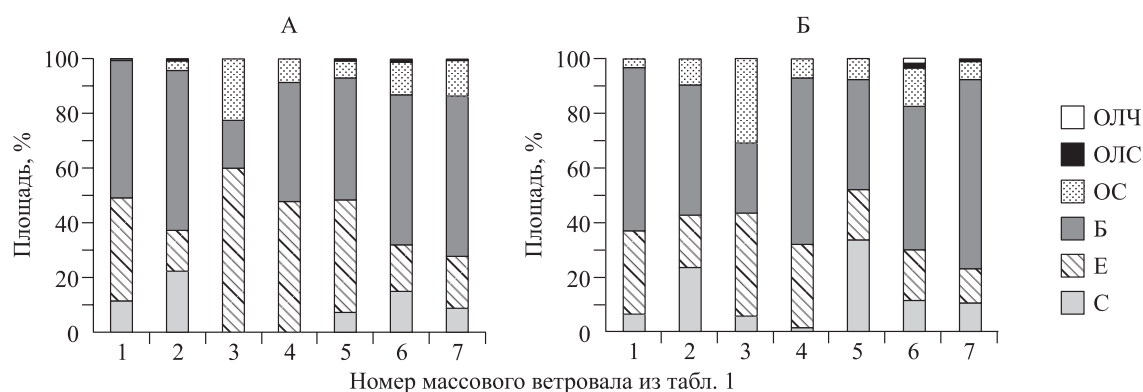


Рис. 2. Распределение площадей фрагментов поврежденных насаждений (А) и всей совокупности насаждений в пределах пострадавших лесных кварталов (Б) по доминирующим породам: ОЛЧ – ольха черная, ОЛС – ольха серая, ОС – осина, Б – береза, Е – ель, С – сосна.

ных насаждений, так и пострадавших лесных кварталов позволяет выявить некоторые особенности таксационных характеристик, возможно определяющих предрасположенность насаждений к ветровалу и бурелому (Lassig, Mochalov, 2000).

Анализ породно-возрастной структуры поврежденных насаждений. Из приведенных диаграмм видно (рис. 2, А, Б), что наибольшие ветровальные площади приходятся на березовые и еловые насаждения, как правило доминирующие на данных территориях до нарушений. При этом для ряда ветровалов (см. № 3–5 на рис. 2, А) отмечено некоторое увеличение процентного соотношения поврежденных еловых насаждений по сравнению с их первоначальным распределением в пострадавших лесных кварталах до нарушения.

Подобное явление наблюдалось при исследовании нескольких массовых ветровалов на Северном и Среднем Урале (Lassig, Mochalov, 2000). Это может свидетельствовать об относительно большей предрасположенности еловых насаждений к ветровалу и бурелому, что подтверждается наблюдениями исследователей (Стойко, 1965; Мелехов, 1980; Скворцова и др., 1983). В свою очередь, высокая доля поврежденных березовых насаждений не может однозначно свидетельствовать о меньшей устойчивости данной породы к ураганам ветрам, так как и до нарушения данные насаждения, как правило, доминировали на территории пострадавших лесных кварталов (см. рис. 2, Б). Например, об относительно высокой устойчивости к ураганам ветрам насаждений с доминированием березы свидетельствует характер распределения ветровальных участков на Северном и Среднем Урале (Lassig, Mochalov, 2000).

Для территорий двух ветровалов (см. № 3, 5 на рис. 2, А, Б) отмечена большая устойчивость насаждений с доминированием сосны обыкновенной, в практике лесного хозяйства и лесной экологии считаемой менее ветровальной древесной породой (Мелехов, 1980; Скворцова и др., 1983; Lassig, Mochalov, 2000). Однако в исследовании Д. А. Акайкина (2012) на сосновые насаждения приходятся максимум ветровальных площадей в результате воздействия урагана 2011 г. в Сосновском участковом лесничестве Ленинградской области и минимум – в Бокситогорском экс-спецхозе (нарушение в 1981 г.). В своем исследовании автор не приводит графики (или цифры) соотношения площадей по преобладающим породам в пострадавших кварталах до нарушения, поэтому по его данным нет возможности судить о наличии равномерности или выборочности повреждения насаждений ураганым ветром с преобладанием данной древесной породы.

Статистический анализ показал, что для параметра «преобладающая порода» отмечена более высокая устойчивость насаждений с преобладанием берез, обратная картина наблюдается для еловых насаждений (см. табл. 2). Установленная для данных пород закономерность в более чем половине случаев статистически значима. Для сосновых и осиновых насаждений четкой взаимосвязи преобладающей породы с вероятностью повреждения ветром не обнаружено.

В возрастной структуре поврежденных лесов основные площади приходятся на насаждения в возрасте более 40 лет (рис. 3, А, Б).

На более молодые насаждения приходятся относительно незначительные ветровальные площади. Подобное распределение наблюдает-

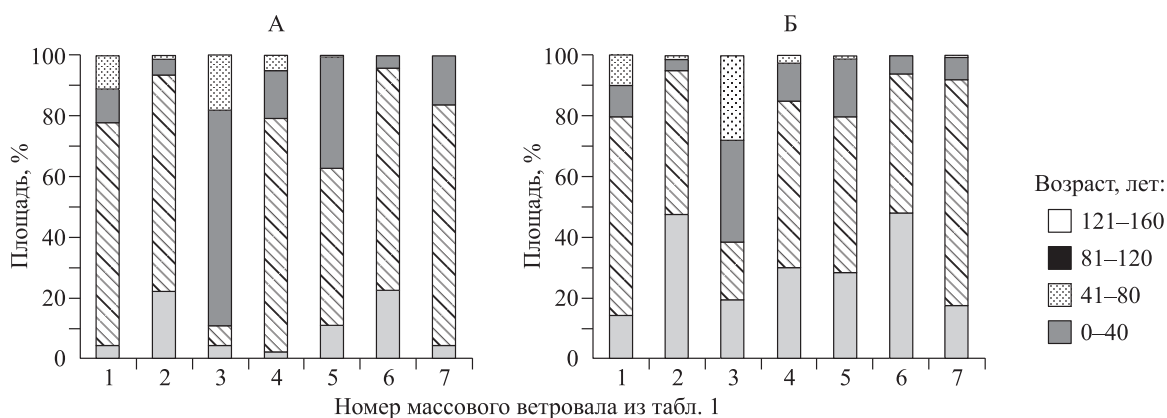


Рис. 3. Распределение площадей поврежденных насаждений (А) и всей совокупности насаждений в пределах пострадавших лесных кварталов (Б) по интервалам возрастов.

ся на участках массовых ветровалов на Северном и Среднем Урале (Lassig, Mochalov, 2000). Вероятно, это связано с тем, что в возрасте до 40 лет деревья обладают относительно высокой пластичностью стволов, что позволяет им изгибаться под воздействием ветровой нагрузки и возвращаться в первоначальное положение после ее прекращения.

Анализ диаграмм показал отсутствие пропорционального распределения поврежденных насаждений по возрасту (см. рис. 3, А) с общей возрастной структурой насаждений в пострадавших лесных кварталах до нарушения (см. рис. 3, Б). С возрастом ветровальность насаждений увеличивается (Мелехов, 1980; Скворцова и др., 1983), поэтому на графиках должен наблюдаться более существенный дисбаланс в нарушении насаждений старших возрастных групп (см. рис. 3, А, Б), как это зафиксировано для ветровалов Среднего и Северного Урала (Lassig, Mochalov, 2000). Однако в нашем исследовании максимально поврежденные площади приходятся на возрастную интервал от 41 до 80 лет. Отметим, что насаждения данного диапазона возрастов преобладали в пострадавших лесных кварталах до нарушения, поэтому на них приходится максимум ветровальных площадей (см. рис. 3, А, Б). Насаждения в возрасте более 81 года также подверглись нарушению, но так как их площадь изначально была невелика, то на них пришлось относительно небольшие ветровальные площади.

Статистический анализ показал, что с увеличением возраста древостоев вероятность повреждения насаждений ураганным ветром возрастает (см. табл. 2). Данная закономерность статистически значима для всех массовых ветровалов.

Высотная структура поврежденных насаждений. Средняя высота насаждений является одним из основных показателей, определяющих их устойчивость к воздействию ветровых нагрузок, ведь опрокидывающая сила ветра увеличивается прямо пропорционально высоте дерева (Белов, 1983). При анализе диаграмм видно, что, как правило, максимальные ветровальные площади приходятся на древостои высотой более 16 м (рис. 4, А, Б).

Данное значение близко к высотному порогу ветровальных насаждений Северного и Среднего Урала, который составляет 17–19 м (Lassig, Mochalov, 2000). Таким образом, можно считать, что интервал 16–19 м является «пороговым значением» высоты, выше которого вероятность массовых ветровальных повреждений лесных насаждений резко возрастает.

Проведенный статистический анализ показал, что аналогично возрасту с увеличением высоты древостоев вероятность повреждения насаждений ветром возрастает (см. табл. 2). Данная связь статистически значима для всех рассматриваемых случаев.

Анализ полнотной структуры поврежденных насаждений. Анализ полнотной структуры поврежденных лесов (рис. 5, А) показал, что максимальные площади приходятся на насаждения с полнотой 0.7–0.8, в ряде случаев данный диапазон смещен от 0.6 (см. ветровал № 5 на рис. 5, А) до 0.9 (ветровал № 1 на рис. 5, Б).

На низкополнотные насаждения (полнота менее 0.5) приходятся относительно незначительные ветровальные площади. В целом процентное соотношение распределения площадей поврежденных насаждений по полнотам (см. рис. 5, А) соответствует общему процентному распределению площадей насаждений

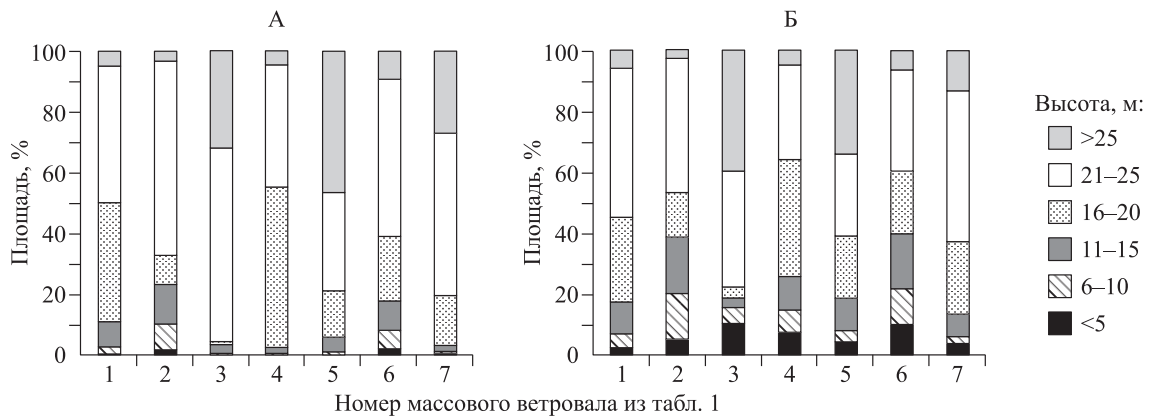


Рис. 4. Распределение площадей поврежденных насаждений (А) и всей совокупности насаждений в пределах пострадавших лесных кварталов (Б) по интервалам высот.

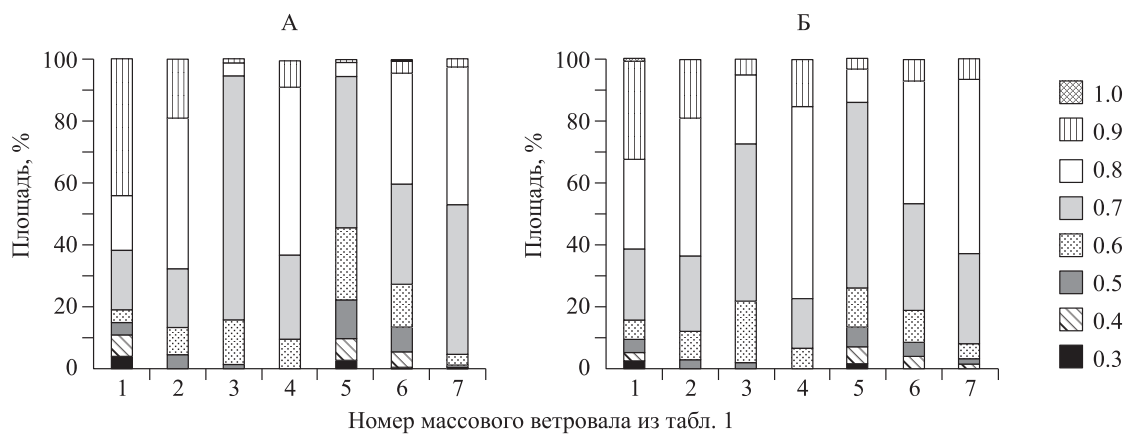


Рис. 5. Распределение площадей поврежденных насаждений (А) и всей совокупности насаждений в пределах пострадавших лесных кварталов (Б) по полнотам.

по полнотам в пострадавших лесных кварталах до нарушения (см. рис. 5, Б), т. е. наибольшие площади приходятся на насаждения с преобладающими на данной территории полнотами.

Статистический анализ не показал четкой зависимости устойчивости насаждений к повреждению ветром от полноты насаждений (см. табл. 2).

Типы леса поврежденных насаждений. Анализ типов леса поврежденных насаждений показал, что повреждаются преимущественно насаждения в черничных и кисличных типах (рис. 6, А).

В целом процентное распределение площадей поврежденных насаждений по типам леса совпадает с общим процентным соотношением насаждений в пострадавших кварталах до ветровала (рис. 6, Б).

Таким образом, в результате воздействия ураганных ветров не обнаружена зависимость

(выборочность) гибели насаждений, приуроченных к определенным типам леса. Как правило, наблюдается равномерное повреждение насаждений, произрастающих в лесных кварталах, оказавшихся на пути ураганного ветра.

Бонитетная структура поврежденных насаждений. Анализ значений бонитетов поврежденных насаждений показал, что наибольшая часть площадей поврежденных насаждений имела высокий класс бонитета – от I до II (рис. 7, А). С уменьшением бонитета площадь поврежденных лесов сокращается. Повреждение высокобонитетных лесов ураганными ветрами также зафиксировано для лесов Ленинградской области (Акайкин, 2012).

В целом процентное соотношение распределения площадей поврежденных насаждений по бонитетам (см. рис. 7, А) соответствует общему процентному распределению площадей насаждений по бонитетам в пострадавших лесных кварталах до нарушения (рис. 7, Б).

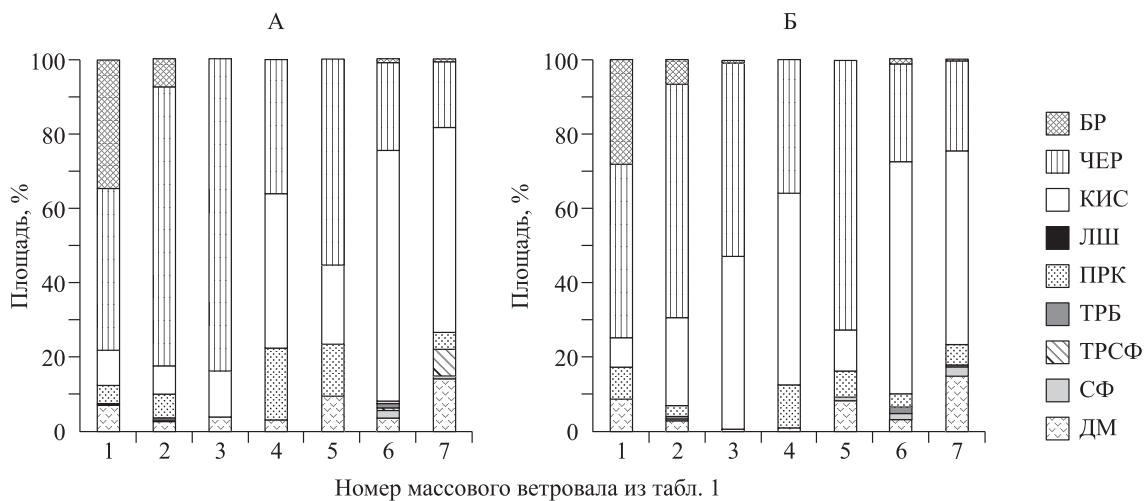


Рис. 6. Распределение площадей поврежденных насаждений (А) и всей совокупности насаждений в пределах пострадавших лесных кварталов (Б) по типам леса: БР – брусничный, ЧЕР – черничный, КИС – кисличный, ЛШ – лишайниковый, ПРК – приручейно-крупнопоротниковый, ТРБ – травяно-болотный, ТРСФ – травяно-сфагновый, СФ – сфагновый, ДМ – долгомошный.

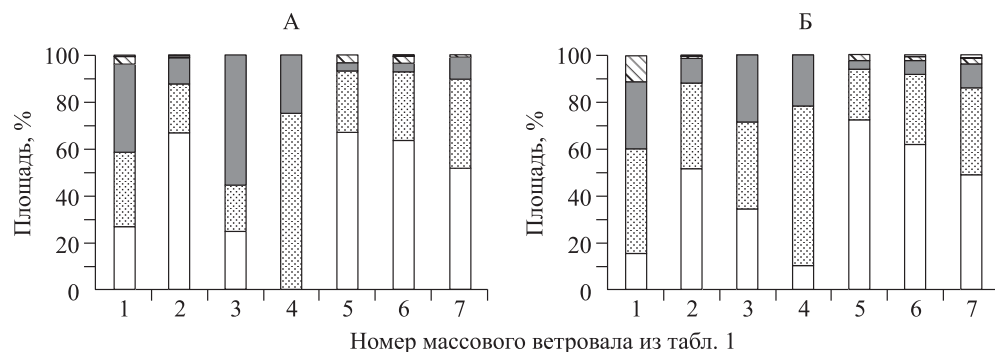


Рис. 7. Распределение площадей поврежденных насаждений (А) и всей совокупности насаждений в пределах пострадавших лесных кварталов (Б) по бонитетам.

Статистический анализ также не показал четкой зависимости влияния значений бонитета на устойчивость насаждений к повреждению ветром (см. табл. 2).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из приведенных диаграмм распределения площадей насаждений (см. рис. 2–7) видно, что для таких таксационных показателей, как полнота, тип леса и бонитет, наблюдается относительно равномерное распределение площадей поврежденных ураганным ветром насаждений. Статистический анализ также не выявил связи между вероятностью повреждения насаждений и значениями данных таксационных характеристик. Однако такая связь явно прослеживается с возрастом, высотой древостоя и преобладающей породой, что подтверждается результатами статистического анализа. В целом отмечаем, что в поврежденных насаждениях преобладали дре-

востой возраста более 40 лет и высотой более 16 м. Насаждения с преобладанием ели менее устойчивы к повреждению ветром, противоположная картина наблюдалась для березовых насаждений.

Работа выполнена при поддержке РФФИ-РГО (проект № 13-05-41478 РГО_А).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Акайкин Д. А. Оперативное обследование поврежденных насаждений с применением беспилотных летательных аппаратов и ГИС (на примере Сосновского участкового лесничества, Приозерского лесничества Ленинградской области): автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.02. СПб.: СПбГЛУ им. С. М. Кирова, 2012. 19 с.
- Аэрокосмический мониторинг лесов / под ред. акад. А. С. Исаева. М.: Наука, 1991. 240 с.
- Белов С. В. Лесоводство. М.: Лесн. пром-сть, 1983. 352 с.

- Ветров А. Л., Шихов А. Н.* Исследование условий развития и оценка последствий сильных шквалов в Прикамье 18 июля 2012 года // Вестн. Удмуртск. ун-та. Биология. Науки о Земле. 2013. Вып. 2. С. 89–99.
- Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность / под ред. О. В. Смирновой. М.: Наука, 2004. 479 с.
- Крылов А. М., Малахова Е. Г., Владимирова Н. А.* Выявление и оценка площадей катастрофических ветровалов 2009–2010 гг. по данным космической съемки // Изв. СПбЛТА. 2012. № 200. С. 197–207.
- Мелехов И. С.* Лесоведение. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 408 с.
- Петухов И. Н.* Характеристика пространственной структуры растительного покрова на месте массовых ветровалов Костромской области // Биология – наука XXI века: 15-я Междунар. Пушчинская школа-конф. молодых ученых. Сб. тез. 2011. С. 227–228.
- Петухов И. Н., Немчинова А. В.* Пространственная структура массовых ветровалов на территории Костромской области // Вестн. Костром. гос. ун-та им. Н. А. Некрасова. 2011. № 1 (3). С. 19–24.
- Петухов И. Н., Немчинова А. В.* Ветровальные нарушения лесного покрова в Костромской области и на сопредельных территориях в 1984–2011 гг. // Лесоведение. 2014. № 6. С. 17–25.
- Рожков А. А., Козак В. Г.* Устойчивость лесов. М.: Агропромиздат, 1989. 239 с.
- Рыльков О. В.* Феноменология и опыт анализа причин ветровала на Куршской косе // Национальный парк «Куршская коса» http://www.park-kosa.ru/staff_articles_publications/17.html
- Скворцова Е. Б., Уланова Н. Г., Басевич В. Ф.* Экологическая роль ветровалов. М.: Лесн. пром-сть, 1983. 192 с.
- Стойко С. М.* Причины ветровалов и буреломов в Карпатских ельниках и меры борьбы с ними // Лесн. хоз-во. 1965. № 9. С. 12–15.
- Шихов А. Н.* Исследование последствий сильных шквалов и смерчей в Пермском крае с применением данных дистанционного зондирования земли // Географ. вестн. Метеорология. 2013. № 1 (24). С. 77–86.
- Hansen M. C., Potapov P. V., Moore R., Hancher M., Turubanova S. A., Tyukavina A., Thau D., Stehman S. V., Goetz S. J., Loveland T. R., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C. O., Townshend J. R. G.* High-resolution global maps of 21st-century forest cover change // Science. 2013. V. 342. P. 850–853.
- Lassig R., Mochalov S. A.* Frequency and characteristics of severe storms in the Urals and their influence on the development, structure and management of the boreal forests // For. Ecol. Manag. 2000. V. 135. P. 179–194.
- Potapov P. V., Turubanova S. A., Tyukavina A., Krylov A. M., McCarty J. L., Radeloff V. C., Hansen M. C.* Eastern Europe's forest cover dynamics from 1985 to 2012 quantified from the full Landsat archive // Rem. Sens. Environ. 2014. V. 159. P. 28–43.
- R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2012. <http://www.r-project.org/>

THE MAIN FOREST INVENTORY CHARACTERISTICS OF THE STANDS DAMAGED BY HURRICANE WINDS IN THE SOUTHERN TAIGA SUBZONE (KOSTROMA OBLAST)

I. N. Petukhov

*N. A. Nekrasov Kostroma State University
1st May str., 14, Kostroma, 156961 Russian Federation*

E-mail: xen8787@mail.ru

In June and July 2010 in Yaroslavl, Vologda and Kostroma regions, as a result of exposure to hurricane winds, recorded several violations of extensive forest cover in the form of windfalls and windbreaks (Krylov et al., 2012; Petukhov, Nemchinova, 2014). Retrospective analysis on the basis of remote sensing data for the period 1984–2011's was conducted. It showed, that among the 21st dedicated mass windfall within the Kostroma region and border areas, windfall July 2010 is unique in the magnitude of the total area of disturbed forest cover. According to our estimates, derived from the analysis of remote sensing (RS), its area was more than 60 thousand Ha, which is four times the average annual area of clear felling, in particular, in the Kostroma region (Petukhov, Nemchinova, 2014). In addition to determining the areas of windfall violations of forest cover, based on forest inventory data and remote sensing data analyzed taxation characteristics of forest stands affected by the impact of the seven gale-force winds within the territory of the Kostroma region. The analysis revealed the following trends in hurricane-force winds damaged trees: for parameters such as completeness, forest type and site class is observed relatively uniform stands hurricane wind damage; I.e., we have not found an association between the degree (probability) of forest stands damaged data and taxation values data. An exception is the age, height, and in some cases, the predominant species plantations. Plantations dominated by spruce in the stand proved to be somewhat less, but with a predominance of pine – more resistant to hurricane winds, compared to other tree species. Selectivity is also observed for breach of stands older than 40 years and a height of over 16 meters, which is possibly related to the morphological and physiological features of the trees of a given age and height.

Keywords: *massive catastrophic windfall, forest inventory and remote sensing data, southern taiga subzone, Kostroma Oblast.*

How to cite: *Petukhov I. N. The main forest inventory characteristics of the stands damaged by hurricane winds in the southern taiga subzone (Kostroma Oblast) // Sibirskij Lesnoj Zhurnal (Siberian Journal of Forest Science). 2016. N. 4: 118–127 (in Russian with English abstract).*