



Петухов Илья Николаевич

**РОЛЬ МАССОВЫХ ВЕТРОВАЛОВ
В ФОРМИРОВАНИИ ЛЕСНОГО ПОКРОВА В ПОДЗОНЕ
ЮЖНОЙ ТАЙГИ
(КОСТРОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

Специальность: 03.02.08 - экология (биологические науки)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Нижний Новгород
2016

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном
учреждении высшего профессионального образования
«Костромской государственной технологической академии»

Научный руководитель: доктор биологических наук, профессор
Шутов Василий Васильевич

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, доцент, доцент
кафедры геоботаники Московского
государственного университета
им. М.В. Ломоносова
Уланова Нина Георгиевна

кандидат биологических наук, доцент, доцент
кафедры ботаники и зоологии Национального
исследовательского Нижегородского
государственного университета
им. Н.И. Лобачевского
Воротников Владимир Петрович

Ведущая организация: **ФГБОУ ВПО Пушкинский государственный
естественно-научный институт (г. Пушкино,
Московская область)**

Защита диссертации состоится «24» февраля 2016 г. в 15⁰⁰ часов на заседании
диссертационного совета Д 212.166.12 при Национальном исследовательском Нижего-
родском государственном университете имени Н.И. Лобачевского (ННГУ) по адресу:
603950, Нижний Новгород, ГСП-20, пр. Гагарина, д.23, корп. 1, ИББМ.

E-mail: dis212.166.12@gmail.com

факс: (831) 462-30-85

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ННГУ по адресу:
https://diss.unn.ru/files/2015/570/diss-Petukhov_-570.pdf, с авторефератом – в сети Интер-
нет на сайте ВАК России по адресу: <http://vak.ed.gov.ru/dis-list>

Автореферат разослан «___» _____ 2016 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат биологических наук



Н.И. Зазнобина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Сплошные вырубки, лесные пожары и массовые (катастрофические) ветровалы – основные факторы нарушений в таежных лесах европейской части России (Уланова, 2006; Олссон, 2011; Замолодчиков и др., 2013; Potapov et al., 2012, 2014; Hansen et al., 2013). В исследованиях многих авторов подчеркивается динамика увеличения количества ураганов и, как следствие, площадей массовых ветровалов (Мочалов, 2002; Francis, Hengeveld, 1998; Dorland et al., 1999; Baliunas, Soon, 2003; Nilsson et al., 2004; Pisson et al., 2005). Поэтому исследования влияния массовых ветровалов на лесные биогеоценозы становятся все более актуальными. В настоящее время остаются недостаточно изученными важные вопросы: о механизмах и темпах восстановления растительности на постветровальных участках в разных типах леса с разной степенью нарушения; о масштабах и периодичности массовых ветровалов во времени и пространстве; о пространственной структуре и приуроченности массовых ветровалов к ландшафтам. Исследования данных вопросов актуально для выяснения роли массовых ветровалов в формировании современного растительного покрова южнотаежных лесов и разработки принципов устойчивого лесоуправления на основе естественной динамики лесных экосистем.

Цель работы – установить характер и степень повреждения лесного покрова ураганными ветрами и выявить особенности лесовосстановления на постветровальных участках по сравнению с участками сплошных рубок.

Для достижения поставленной цели исследование было ориентировано на решение следующих **задач**:

1. Картографирование массовых ветровалов на территории Костромской области и выявление особенностей нарушения лесного покрова.
2. Сравнительный анализ основных фитоценологических характеристик поврежденных лесных сообществ.
3. Выявление особенностей процесса лесовосстановления на участках массового ветровала и сплошных рубок.
4. Разработка практических рекомендаций по освоению участков массового (катастрофического) ветровала.

Объекты исследования: леса Костромской области, а также приграничные участки лесов Ярославской, Ивановской, Вологодской, Нижегородской, Кировской областей.

Научная новизна работы. В работе впервые составлена картосхема массовых ветровалов и впервые получены объективные данные о их площади и повторяемости в лесах бореальной зоны центра Европейской части России (на примере Костромской области за период 1984-2011 гг.); впервые предложена классификация и критерии оценки пространственной структуры ветровальных нарушений лесного покрова в зависимости от вида опасного явления (шквал, смерч); впервые выявлены особенности восстановления состава и структуры лесных сообществ на месте условно-коренных пихто-ельников

черничников после массового ветровала и сплошной рубки; разработаны практические рекомендации по освоению участков массового (катастрофического) ветровала.

На защиту выносятся следующие основные положения:

1. На территории Костромской и сопредельных областей выделяются две основные формы пространственной структуры ветровальных нарушений лесного покрова.

2. Выявлены некоторые зависимости вероятности повреждения древесного яруса лесных фитоценозов от ряда таксационных характеристик.

3. Наблюдается бóльшая трансформация лесных фитоценозов после антропогенного воздействия (сплошной рубки) по сравнению с естественным катастрофическим нарушением (массовый ветровал).

4. Практические рекомендации по освоению участков массового (катастрофического) ветровала.

Практическая ценность и реализация работы. Результаты ретроспективного анализа массовых ветровалов существенно дополняют работы других исследователей по изучению процессов естественных нарушений лесов бореальной зоны на уровне биогеоценозов и ландшафтов. Материалы исследования расширяют знания по фитоценологии и лесоведению, дают картину естественной динамики лесного покрова на постветровальных участках южнотаежных лесов. Полученные результаты могут быть использованы для создания системы рационального ведения лесного хозяйства, развития новых экологических подходов к эксплуатации лесов в подзоне южной тайги, а также, при определении режимов охраны, организации мониторинга и составлении прогнозов развития конкретных лесных массивов.

Достоверность полученных результатов и выводов исследования. Выводы и заключения автора базируются как на собственном материале, собранном при изучении лесных фитоценозов, так и на анализе опубликованных материалов. Достоверность полученных результатов подтверждена методами математической статистики (Мэгарран, 1992; Боровиков, 2003; Мاستицкий, 2009, 2014).

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

Апробация работы. Результаты работы обсуждались на заседаниях кафедры Лесоинженерное дело Костромского государственного технологического университета (КГТУ), кафедры Системной экологии Пущинского государственного естественно-научного института (ПущГЕНИ), на семинаре в Центре экологии и продуктивности лесов (ЦЭПЛ РАН). Основные положения диссертационной работы отражены в докладах на пяти конференциях:

- 15-я, 16-я, 17-я Международная Пущинская школа – конференция молодых ученых «Биология наука XXI века», Пущино, 2011-2013 гг.;
- 63-й межвузовской научно-технической конференции молодых ученых и студентов «Студенты и молодые ученые КГТУ - производству», КГТУ, Кострома, апрель, 2011 г.;

- Международной научной конференции, посвященной 110-летию А.А. Уранова «Современные проблемы популяционной биологии, геоботаники и флористики», КГУ им. Некрасова, октябрь, 2011 г.

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач исследования, разработке методик и программ исследования, руководстве и непосредственном участии в полевых работах, в проведении анализа и обобщения данных, в разработке научно-практических рекомендаций, в реализации и апробации работы. Работа по теме диссертации началась на 1 курсе лесомеханического факультета Костромского государственного технологического университета и продолжена в аспирантуре. Основным объемом полевых работ выполнен автором в 2009 – 2012 гг. Все исследования выполнены лично автором или под его руководством и при непосредственном участии.

Публикации. Автором опубликовано 11 научных работ, в том числе 5 статей в рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК РФ.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения, выводов, списка литературы, приложения. Библиография – 213 наименований (в том числе 49 на иностранных языках) на 17 страницах. Общий объем работы 149 страниц и включает текстовую часть – 131 страница, 35 рисунков, 14 таблиц и 1 страницы приложений.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность всем коллегам - сотрудникам Лаборатории устойчивости лесных экосистем Костромского государственного университета им. Н.А. Некрасова, принимавшим участие в экспедиционных исследованиях постветровальных участков. Особая признательность руководителю лаборатории, канд. биол. наук Анне Викторовне Немчиновой, возглавлявшей экспедиционные исследования, помогавшей ценными советами и консультациями.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Массовые ветровалы: масштабы, причины и последствия для лесных экосистем

Профессор Майер (1909, цит. по Мелехову, 1980) отметил, что ветер – созидатель леса, ветер – разрушитель леса, ветер – ограничитель распространения леса. В этой фразе довольно точно отражено многостороннее влияние ветра на лесные фитоценозы. Данная работа посвящена так называемому «разрушительному влиянию» ветра на лесные экосистемы. Под «разрушительным влиянием» понимают результат воздействия ураганных ветров на лесные сообщества, при котором наблюдается повреждение древесного яруса фитоценозов в виде слома (*бурелом, ветролом*) и (или) вывала (*ветровал, буревал*) деревьев на площади в десятки, сотни и тысячи гектаров (Белов С.В., 1976; Скворцова и др., 1983; Рожков и др., 1989; Пузаченко, 2007; Петухов, Немчинова, 2011, 2014; Петухов и др., 2011). Одновременно с массовым вывалом деревьев происходит обширное нарушение почвенного покрова, выраженное в образовании ветровально-почвенных комплексов (ВПК), состоящих из западины (ямы, углубления), вывала (корни с остатками почвы из верхних горизонтов) и ствола дерева (Карпачевский, 1977; Карпачевский и др., 1980; Ба-

севич, 1981; Скворцова и др., 1983; Шуваев и др., 1983; Строгонова и др., 1985; Васенев, Просвирина, 1988; Васенев, Таргульян, 1995; Бобровский и др., 2012; Ulanova, 2000). Таким образом - *массовый ветровал* есть результат комплексного нарушения лесных биогеоценозов (Скворцова и др., 1983).

Главной причиной массовых ветровалов является ураганный ветер. Однако в литературе отмечается, что на вероятность ветровальных нарушений лесного покрова, кроме силы и скорости ветра, оказывает влияние целая серия второстепенных факторов: орографические, климатические, почвенно-гидрологические, биологические, хозяйственные и т.д. (Межибовский 1968, 1970; Стойко, 1965; Мелехов, 1980; Скворцова и др., 1985; Исаев и др., 1991; Stathers et al., 1994; Craig DeLong et al., 2001; Scott, 2005). Наиболее полная классификация данных факторов приведена в монографии Е.Б. Скворцовой с соавт. (1983) - «Экологическая роль ветровалов». Авторами монографии особо подчеркивается, что выделенные факторы действуют не по отдельности, а в совокупности друг с другом, и, практически всегда, ветровальные и буреломные нарушения – есть результат совместного влияния комплекса факторов. Более того, одни факторы проявляются через действия других.

На постветровальных участках наблюдается комплексное нарушение растительного и почвенного покрова - поэтому последствия ветровальных нарушений являются предметом изучения целого ряда научных дисциплин: *геоботаники, почвоведения, ландшафтоведения, лесоведения* и т. д.

Геоботанические исследования процессов лесовосстановления на участках массовых ветровалов (постветровальных сукцессий) в южнотаежных ельниках европейской части России проводятся на базе Центрально-Лесного государственного биосферного заповедника (ЦЛГБЗ, Тверская область). Результаты этих исследований опубликованы в работах Н.Г. Улановой (2004, 2006, 2012), М.Ю. Пукинской (2007а,б), О.В. Чередниченко с соавт. (2007, 2012). Исследование ранних стадий постветровальных сукцессий ведется в широколиственных лесах заповедника «Калужские засеки»: работы М.В. Бобровского (2010а, 2012), М.Н. Стаменова с соавт. (2011). Растительные сукцессии в одном из наиболее подверженных ветровалам регионе России – Северном и Среднем Урале изучается С.А. Мочаловым с соавт. (Мочалов и др., 2005; Lassig, Mocalov, 2000), Н.Г. Улановой с соавт. (2007), А.А. Жульковым с соавт. (2007), Е.Г. Поздеевым с соавт. (2000; 2001, 2002). За рубежом сходные исследования проводятся в лесах Западной Европы (Jehl, 2001; Fisher et al., 2002; Schönenberger, 2002; Angst et al., 2004; см. обзор - Bouget, Duelli, 2004; Pisson et al., 2005, 2007; Nagel et al., 2006; Heurich, 2009; Budzáková, 2013) и Северной Америке (см. обзор - Everham, Brokaw, 1996; Disturbance Dynamics ..., 2002; Vouchar M. et al., 2008; Plotkin et al., 2013).

В ряде почвоведческих работ Л. О. Карпачевского (1977, 1980) ветровальные нарушения рассматривается как фактор преобразования почвенного покрова, необходимый этап естественной динамики лесных почв. И. И. Васенев (1988) и В. О. Таргульян (1995) изучают почвенный покров как континуум ветровально-почвенных комплексов. Наиболее детальные исследования ВПК описаны в монографии «Экологическая роль

массовых ветровалов» (Скворцова и др., 1983). Трансформации почвенного покрова в связи с ветровальными нарушениями на Европейской территории России также изучается М. В. Бобровским (1998, 2001, 2009, 2010а,б, 2012). Аналогичные исследования ведутся за рубежом (Fraser, 1962, Wolgemuth et al., 2002; см. обзор – Šamonil et al., 2010).

В изучении массовых ветровалов находит применение *ландшафтный подход* (Пузаченко, 2007), в частности подобные исследования проведены на территории ЦЛГБЗ.

Массовые ветровалы являются также объектом *дистанционных исследований*. Накапливается опыт их дешифрирования, разрабатываются методики качественной и количественной оценки их последствий (Владимирова, 2011 и др.; Малахова, Владимирова, 2011; Петухов, Немчинова, 2011а; Петухов, 2011б,в; Петухов и др., 2011е; Петухов, 2013; Петухов, Немчинова, 2014; Ветров, Шихов, 2013; Шихов, 2013; Baumann M. et al., 2014; Petukhov, Nemchinova, 2015).

Таким образом, массовые ветровалы являются объектом исследований разных научных направлений и дисциплин. Однако изученность данного явления и его последствий на территории России неравномерно: относительно подробно рассмотрено лишь несколько областей центра Европейской части (Московская, Тверская, Калужская) и Урал (Северный и Средний).

Глава 2. Характеристика природных условий региона исследований

В данной главе рассматриваются основные характеристики природных условий региона исследования. Дана краткая характеристика рельефа местности, описаны преобладающие типы почв, приведен перечень основных видов естественных ландшафтов Костромской области (Ландшафты и экологическая сеть Костромской ..., 2013). Проведен анализ климатических факторов (Агроклимат. ресурсы ..., 1974, Бондаренко, 2009), среди которых уделено особое внимание анализу многолетних наблюдений за направлениями и скоростями ветра в регионе (Справочник по климату СССР. Вып.29, 1966). Даны характеристики флоры и растительности на территории области (Зайцев, 2006; Шутов и др., 2008).

Глава 3. Методы и объекты исследования

Методы исследования. В результате анализа изменений лесного покрова по данным дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) создана картосхема массовых ветровалов на территории Костромской и сопредельных областей (рис. 1). Процесс создание картосхемы состоял из двух основных этапов. На первом этапе выполнен визуальный поиск и примерное оконтуривание массовых ветровалов по сценам космических снимков Landsat с соответствующим пространственным и временным покрытием, располагающихся на сайте Национальной геологической службы США (www.glovis.usgs.gov) в программе Quantum GIS 1.9.0 (QGIS 1.9.0). Полигоном поиска и выделения ветровальных нарушений полностью охвачена территория Костромской области (рис. 1), а также частично территории Ярославской (11.5%), Вологодской (22.5%), Кировской (6.6%), Нижегородской (22.5%) и Ивановской (29.9%) областей. На втором этапе осуществлялось автоматическое оконтуривание выявленных фрагментов ветровальных нарушений по ме-

тодике Е.Н. Сочилова и Д.В. Ершова (2007), адаптированной под задачи данного исследования в программном пакете GRASS 6.4.3. Всего проанализировано 165 разновременных сцен космических снимков серии Landsat TM/ETM за период съемки 1984-2011.

Для анализа таксационных характеристик древостоев в поврежденных лесных сообществах отсканированы и привязаны к местности планы лесонасаждений 18 участковых лесничеств, векторизованы 485 кварталов общей площадью порядка 107 тыс. га. Создана единая база данных таксационных характеристик поврежденных лесных выделов.

Для решения задач нашего исследования были выполнены геоботанические описания лесных фитоценозов, восстанавливающихся после различных вариантов нарушений (массовый ветровал, сплошная рубка). Геоботанические описания растительных сообществ выполнялись на пробных площадях (ПП) размера 10×10 м по общепринятым методикам (Смирнова и др., 2002; Методические подходы к ..., 2010). В ходе полевых исследований использовались два типа описаний ПП: геоботанические и рекогносцировочные. Для каждого типа описаний были разработаны типовые бланки (геоботанические описания) или указан перечень основных показателей (рекогносцировочные описания), учитываемый на каждой ПП, что позволило стандартизовать и упростить их дальнейшую обработку.

Описание лесных сообществ осуществлялось по ярусам. В вертикальной структуре фитоценозов выделяли следующие ярусы: ярус древостоя - А, ярус подлеска - В, травяно-кустарничковый ярус - С. Флористический состав отмечался отдельно по каждому ярусу фитоценоза. Для травяно-кустарничкового яруса оценивалось общее проективное покрытие видов, а также обилие каждого вида по шкале Й. Браун-Бланке (Braun-Blanquet, 1964). Названия сосудистых растений указывали по С.К. Черепанову (1995).

В ходе выполнения работы проведены популяционно-демографические исследования. На пробных площадях оценивались онтогенетические состояния деревьев, на основе которых построены возрастные спектры. Для определения возрастных (онтогенетических) состояний использовали шкалу, разработанную Т.А. Работновым и дополненную последователями А.А. Уранова (Диагнозы и ключи ..., 1989; Смирнова и др., 2002; Уланова и др., 2005; Уланова, 2006). Определение численности особей ели в разных онтогенетических состояниях позволяет оценить состояние популяции основного вида - эдификатора. Совместный анализ состояния популяций разных видов позволяет подойти к оценке сукцессионного состояния сообщества темнохвойных лесов района исследований (Смирнова, Бобровский, 2001; Смирнова и др., 2006).

В ходе полевых исследований описано 14 почвенных разрезов, помимо которых были сделаны прикопки (выполнены Е.А. Буториной).

Обработка материалов. Вся совокупность геоботанических описаний была экспертно разделена на группы в зависимости от варианта нарушения: ненарушенные (фоновые) и нарушенные (ветровал, вырубка)). Внутри каждого варианта нарушения выделены относительно однородные группы описаний, исходя из состава и структуры древесного и травяно-кустарничкового ярусов, характеризующих определенный тип леса. Название типам леса давалось по эколого-фитоценотической классификации (Заугольно-

ва, Морозова, 2006; <http://cepl.rssi.ru/bio/flora/main.htm>), которая относительно хорошо состыковывается с доминантной классификацией, принятой в лесном хозяйстве.

Видовое разнообразие растительных сообществ оценивалось по уровням ставшим классическими в современной фитоценологии: альфа- и бета-разнообразие (Мэгарран, 1992; Смирнова и др., 2002; Whittaker, 1972).

Весь флористический список сосудистых растений был проанализирован и поделен на эколого-ценотические группы (Смирнов и др., 2006; Смирнова и др., 2006; <http://mfd.cepl.rssi.ru/flora/ecogroup.html>). Под ЭЦГ понимали группу сопряженных видов, встречающихся в одинаковых растительных сообществах и имеющих сходную экологическую приуроченность (Смирнова и др., 2004). В работе использованы следующие обозначения ЭЦГ: Br_m - бореальные мелкотравные, Br_k - бореальные кустарнички, Hh - высокотравные, Md - луговые и лугово-опушечные, Nm - неморальные, Nt - нитрофильные, Pn - боровые и Wt - водно-болотные.

Расчеты проводили в программных пакетах Microsoft Office 2003, в среде статистического программирования R (Мастицкий, 2015; R Core Team. R, 2012), с использованием авторских скрипт-программ написанных на языке программирования Python 2.7.

Объекты исследования. На основе созданной картосхемы массовых ветровалов (рис. 1) подбирались постветровальные участки для последующих экспедиционных исследований.

Изучение растительных сообществ осуществлялось на территории Кологривского района Костромской области. Исследованы постветровальные фитоценозы, восстанавливающиеся на месте условно-коренного пихто-ельника черничника, поврежденного ураганом в 1987 г. (Понговское уч. лесничество, кварталы - 98, 110, 111, 121). С целью восстановления состава и структуры фитоценозов до нарушения, были исследованы близлежащие ненарушенные (фоновые) лесные сообщества. Для проведения сравнительного анализа изучены антропогенно нарушенные фитоценозы, восстанавливающиеся на месте сплошной концентрированной вырубке 1987 г. (Варзенгское уч. лесничество, квартал 80). Экспедиционные исследования проведены спустя 25 лет после нарушений в июле-августе 2012 г.

Всего в ходе экспедиционных исследований выполнено 109 геоботанических описаний растительных сообществ - на постветровальных участках 1987 г. выполнено 43 описания (28 геоботанических и 15 рекогносцировочных), на фоновых участках выполнено 38 описаний (28 геоботанических и 10 рекогносцировочных), на вырубке 1987 г. выполнено 28 геоботанических описаний.

Глава 4. Пространственная структура ветровальных нарушений лесного покрова и характеристика поврежденных лесных фитоценозов

В результате обработки временных серий космических снимков Landsat TM/ETM, периода съемки с 1984 по 2011 гг. на территории Костромской и сопредельных областей выделен 21-ин массовый ветровал (рис. 1). Установлено, что нарушения лесного покрова различны по направлению, площади и протяженности. Совокупность фрагментов ветровальных нарушений образуют определенную пространственную структуру.



Рис. 1. Общая схема массовых ветровалов, выделенных за период 1984-2011 гг.

Распределение количества и площади обнаруженных ветровалов во времени - неравномерно. В целом отмечена тенденция роста среднего ежегодного количества и средней ежегодной площади ветровальных нарушений лесного покрова (табл. 1).

Таблица 1

Распределение количества и площади ветровальных нарушений по времени

Продолжительность (временной период)	17 лет [1984 – 2000]*	7 лет (2000 – 2007]	2 года (2007 – 2009]	2 года (2009 – 2011]
Количество, шт.	4	4	4	9
Площадь, га	1978.3	4425.6	12392.3	72900.7

Примечание: *квадратная скобка означает, что год включен в данный временной интервал, круглая – нет.

Площади массовых ветровалов лежат в широком интервале значений от 124.3 до 60424.7 га (рис. 1). Распределение количества ветровалов от их площади представлено на рис. 2. В целом наблюдается сокращение общего числа массовых ветровалов с увеличением площади поврежденных лесов.



Рис. 2. Распределение количества массовых ветровалов по площади

Для территории Костромской области проведен сравнительный анализ данных о площадях поврежденных лесных фитоценозов в результате воздействия лесных пожаров и ураганных ветров за период с 1984 по 2011 гг. Выяснилось, что ежегодные площади вываленных лесов (390 га/год) в полтора раза превосходят площади выгоревших лесов (266 га/год). Таким образом, отмечаем, что в рассматриваемом временном периоде на данной территории ураганные ветры оказывают большее влияние на нарушение и, как следствие, на формирование лесного покрова по сравнению с лесными пожарами.

На основе составленной картосхемы массовых ветровалов (рис. 1) предложена классификация и критерии оценки пространственной структуры ветровальных нарушений лесного покрова. В качестве критериев использованы коэффициенты *удлиненности* и *обеспеченности* (Прэтт, 1982 цит. по Седых, 1991; Викторов, 1986 цит. по Седых, 1991). *Удлиненность* – это отношение максимальной ширины ветровальных нарушений к общей длине. *Обеспеченность* – это отношение площади контура объекта (ветровала) к квадрату его периметра (лежит в интервале от 0 до 1, и равна 1 тогда, когда объект имеет форму окружности).

- линейная форма (рис. 3) характерная для ветровалов относительно малых площадей от 56.3 до 1007.7 га. Для данного типа нарушений присуща относительно стабильная ширина сплошного вывала на всем протяжении массового ветровала. Коэффициенты обеспеченности и удлиненности относительно невелики, лежат в интервалах от 0.11 до 0.16 (0.14 ± 0.02) и от 9.20 до 25.15 (16.18 ± 4.9) соответственно;

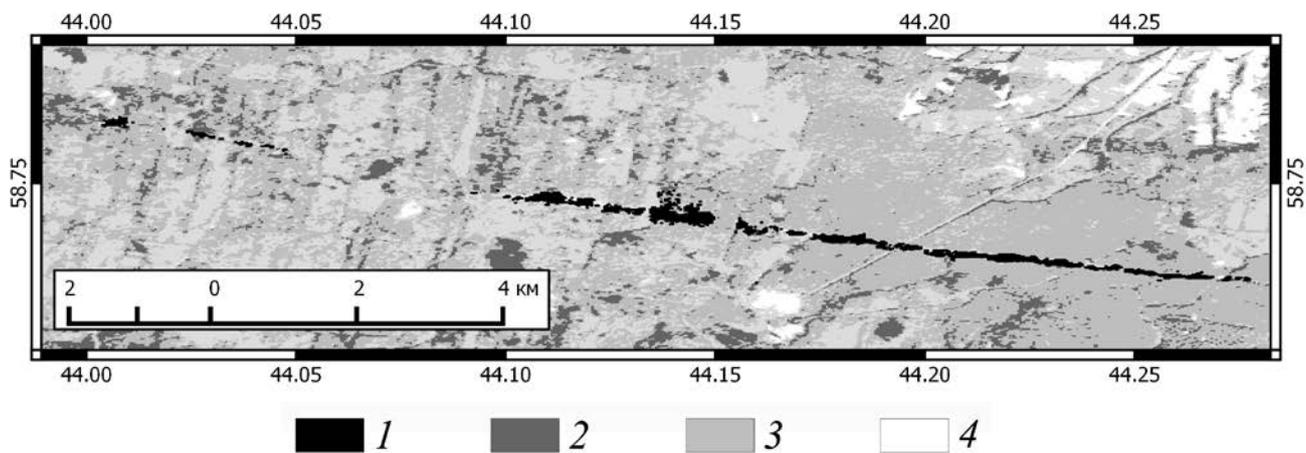


Рис. 3. Линейная форма нарушения лесного покрова

(1 – массовый ветровал; 2 – хвойные леса; 3 – мелколиственные леса; 4 - обезлесенные территории)

- линейно-веерная форма (рис. 4) характерная для ветровалов широкого диапазона площадей от 56.6 до 60424.7 га. Для данного типа нарушений свойственна следующая особенность: по мере продвижения вглубь лесного массива фрагменты ветровала «рассеиваются» на множество мелких (дифференцированных) участков среди неповрежденной древесной растительности, образуя относительно широкий «фронт» ветровала. В ряде случаев широкий ветровальный фронт образуется без так называемой переходной (расширяющейся) зоны. Также для данной структуры характерно наличие нескольких крупных (относительно общей площади ветровала) фрагментов сплошного повреждения древостоя. Коэффициенты обеспеченности – выше, а удлиненности - ниже, чем для ли-

нейной формы, лежат в интервале значений от 0.26 до 0.75 (0.51 ± 0.17) и от 1.36 до 9.62 (3.80 ± 2.0) соответственно.

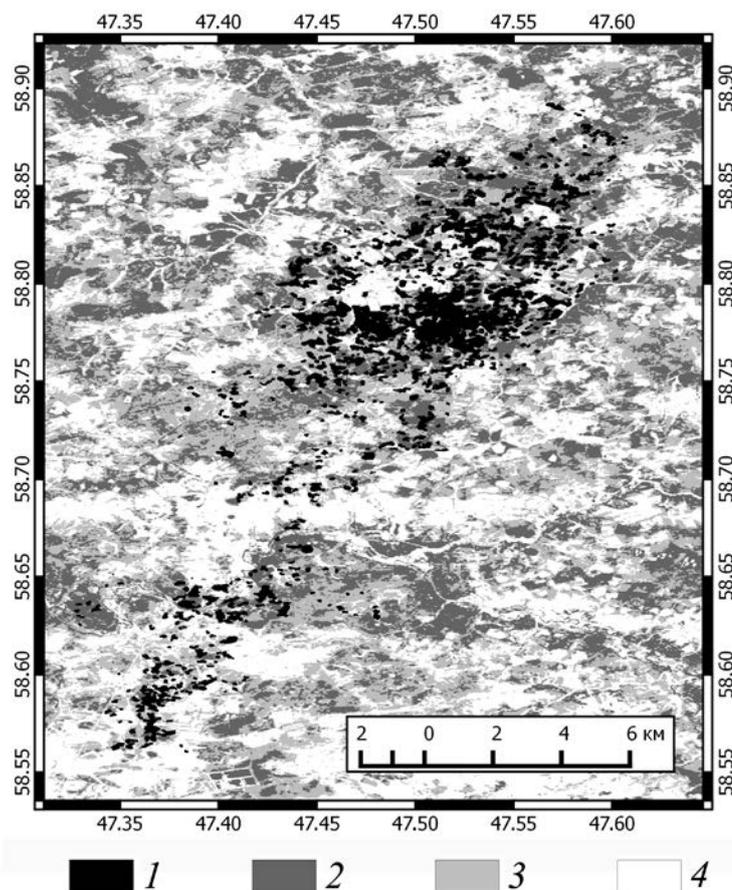


Рис. 4. Линейно-веерная форма нарушения лесного покрова (обозначения см. на рис. 3.)

Различия в характере повреждения лесного покрова возможно, связаны с видом опасного явления, которым вызваны нарушения. В истории метеонаблюдений отмечается, что первопричиной ветровальных нарушений в виде постепенно расширяющейся полосы (аналог линейно-веерной формы) являются ураганные шквалы ветра, а в виде длинных относительно узких полос (аналог линейной формы) – смерчи (Разуваев, 2001; Шихов, 2013; Ветров, Шихов, 2013).

На одном из модельных участков (Кологривский ветровал '87 г.) изучено влияние рельефа на характер повреждения лесного покрова шквалистым ветром. Проведенный корреляционный анализ показал (рис. 5), что между размерами фрагментов массового ветровала и колебаниями высотных отметок рельефа существует положительная статистически значимая корреляция (ранговый коэффициент корреляции Спирмена равен 0.62, при $p < 0.001$).

Таким образом, на примере модельного участка выяснено, что в условиях равнинной местности рельеф продолжает оказывать влияние на перераспределение воздушных потоков. В результате этого преимущественно повреждаются леса, произрастающие на возвышенных участках рельефа, а в понижениях (балках, оврагах), ориентированных перпендикулярно направлению ураганного ветра, лесные фитоценозы остаются неповрежденными, данный вывод подтверждается результатами других исследований (Бобровский и др., 2012).

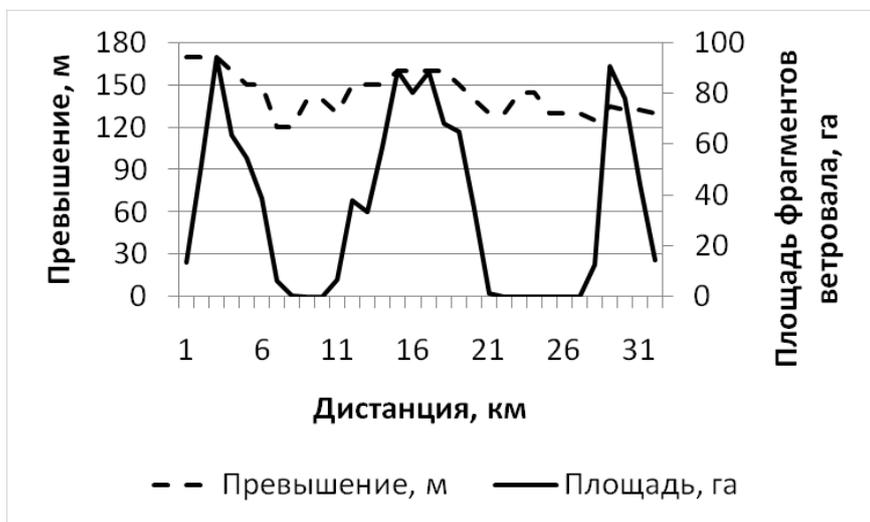


Рис. 5. Взаимосвязь высотных отметок рельефа местности и площади фрагментов массового ветровала (Кологривский ветровал '87 г.)

Для выявления связи вероятности повреждения лесных фитоценозов с их таксационными характеристиками проанализированы распределения площадей древесного яруса фитоценозов по преобладающим породам, возрастам (рис. 6), высотам, полнотам и бонитетам как для ветровальных территорий, так и в целом по территориям пострадавших лесных кварталов до нарушений. Статистический анализ проводился по критерию χ^2 . Всего проанализированы данные лесоустройств по территориям семи массовых ветровалов. Так как работа велась с лесоустроительными данными (планы лесонасаждений, таксационные описания), то в обсуждении результатов исследования использованы термины, принятые в практике лесной таксации и лесного хозяйства.

В результате анализа установлено, что для таких параметров как полнота, тип леса и бонитет наблюдается практически равномерное повреждение насаждений ураганным ветром. Выборочность нарушения обнаружена для возраста, высоты, а в ряде случаев и преобладающей породы: еловые насаждения показали себя менее, а сосновые – более устойчивыми к воздействию ветра. В целом наблюдается тенденция повреждения насаждений возрастом более 40 лет и высотой более 16 м.

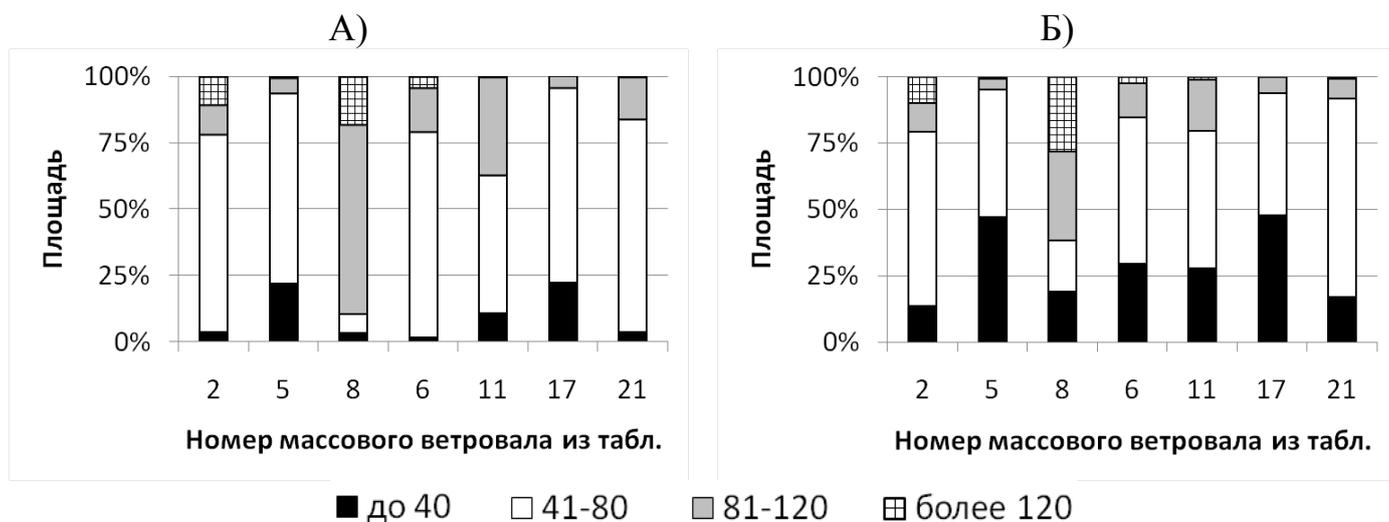


Рис. 6. Распределение площадей поврежденных насаждений (А) и всей совокупности насаждений в пределах пострадавших лесных кварталов (Б) по интервалам возраста

Глава 5. Сравнительный анализ особенностей восстановления лесных фитоценозов на нарушенных участках

Выполнен сравнительный анализ процессов восстановления лесных фитоценозов через 25 лет после нарушения условно-коренного пихто-ельника черничника массовым ветровалом и сплошной рубкой в Кологривском районе Костромской области.

На фоновых участках (табл. 2) отмечены фитоценозы с доминированием в древесном ярусе ели (*Picea abies* (L.) H. Karst.) и осины (*Populus tremula* L.) с участием поздне-сукцессионных видов: липы (*Tilia cordata* Mill.), пихты (*Abies sibirica* Ledeb.). Сомкнутость древесного полога неоднородная, варьирует от 0.2 до 0.7, в среднем составляет около 0.4. Состав подлеска и подроста (ярусы В и С) данных фитоценозов однороден: преобладает рябина (*Sorbus aucuparia* L.) и ель, встречается клен платановидный (*Acer platanoides* L.), липа и пихта. Травяно-кустарничковый ярус образуют: *Vaccinium myrtillus* L., *V. vitis-idaea* L. Значительное участие принимает бореальное мелкотравье; *Oxalis acetosella* L., *Rubus saxatilis* L., *Maianthemum bifolium* (L.) F.W. Schmidt, *Trientalis europaea* L. На некоторых участках наблюдается преобладание в напочвенном покрове крупного папоротника - *Dryopteris expansa* (C. Presl) Fraser-Jenk. & Jermy. Проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса варьировало по площадкам от 25 до 95%, со средним значением около 58%. Данную ассоциацию назвали как *Пихто-ельники с липой черничные*, а тип леса по эколого-флористической классификации - *Ельники бореально-кустарничковые* (Заугольнова, Морозова, 2006).

В аналогичных лесорастительных условиях на постветровальных участках формируются (табл. 2) фитоценозы с доминированием смешанных березово-еловых древостоев с участием осины, ивы козьей (тип леса - *березняки крупнопяпоротниковые*), а также фитоценозы с доминированием в верхнем ярусе ели с участием осины и ивы (тип леса - *ельники бореально-мелкотравные*). Сомкнутость древесного полога неоднородна, в среднем составляет около 0.5. В подросте и подлеске преобладают рябина и ель, но в отличие от фоновых участков также присутствует береза, осина и практически отсутствуют коренные виды - клен, липа и пихта. В травяно-кустарничковом ярусе преобладают крупные папоротники: *D. expansa*, *Athyrium filix-femina* (L.) Roth, крупные травы: *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop, а также бореальные виды: *Linnaea borealis* L., *V. myrtillus*, сократившие свое обилие и встречаемость. Проективное покрытие данного яруса неравномерно, варьирование по площадкам составляет от 10 до 90%, в среднем 45%.

На участках вырубки 1987 г. формируются фитоценозы с доминированием в древесном ярусе березы с участием ели, клена и рябины (тип леса - *березняки крупнопяпоротниковые*, табл. 2). Сомкнутость древесного полога варьирует от 0.2 до 0.7 и в среднем составляет 0.4. Отмечено, что в составе подлеска и подроста присутствует только один широколиственный поздне-сукцессионный вид – клен. В напочвенном покрове крупные папоротники: *D. expansa*, *A. filix-femina* содоминируют с бореальным мелкотравьем, а также с нитрофильными видами: *Stellaria holostea* L., *Filipendula vulgaris* Moench. Проективное покрытие данного яруса на пробных площадях довольно высокое, изменяется от 50 до 100%, со средним значением 66%.

Характеристика яруса древостоя (яруса А) и подлеска (яруса В) фоновых и нарушенных фитоценозов

Ярус	Состав *	Численность особей, шт./га	C _v , %	Высота по подъярусам, м		
				1**	2**	3**
<i>Фоновых участки (тип леса – ельники бореально-кустарничковые)</i>						
A	6Е2Ос1Б1Лп ед. Пх	1030±250***	24.3	25.5±1.3	19.5±1.5	14.2±1.8
B	5Ряб2Е2Лп1Кл ед. Пх	4040±1490	36.9	3.6±1.3	1.3±0.6	-
<i>Постветровальные участки спустя 25 лет после нарушения (общая характеристика древостоя и подлеска)</i>						
A	4Е4Б1Ив1Ос	1740±540	31.0	14.9±2	7.9±1.8	-
B	4Ряб3Е3Б ед. Ив	2850±1400	49.1	4.4±1.2	1.5±0.7	-
<i>Постветровальные участки с доминированием в древостое лиственных видов (тип леса – березняки крупнопоротниковые)</i>						
A	5Б3Е1Ив1Ос ед. Чер	1700±580	34.1	14.3±2	7.7±1.8	7.6±1.4
B	4Ряб3Е3Б ед. Ив, Ос	3010±1440	47.8	4.2±1.1	1.5±0.7	-
<i>Постветровальные участки с доминированием в древостое хвойных видов (тип леса – ельники бореально-мелкотравные)</i>						
A	7Е2Ос1Ив ед. Б, Пх	1980±170	8.6	20.8±0.7	13.5±1.9	10.1±1.6
B	4Ряб3Е2Кл1Пх ед. Б, Ив	1880±300	16.0	5.4±1.3	1.9±0.6	-
<i>На сплошной вырубке спустя 25 лет после нарушения (тип леса – березняки крупнопоротниковые)</i>						
A	7Б1Е1Кл1Ряб ед.Ив	1950±520	26.7	13.3±2.8	8±1.3	5.6±0.8
B	3Е3Кл3Ряб1Чер	2288±620	27.1	3.5±0.7	1.6±0.6	-

Примечание: * Состав по количеству особей на гектаре. Сокращения: Е – ель, Б – береза, Ос – осина Лп – липа, Пх – пихта, Кл – клен, Ряб – рябина, Чер – черемуха; ед. – единично (до 5% в составе). ** Обозначение соответствующего подъяруса фитоценоза (А₁-А₃; В₁-В₂; С). *** Среднее квадратичное отклонение.

Таким образом, после обоих вариантов нарушений (рубка, ветровал) происходит трансформация древесного яруса фитоценозов, которая заключается в уменьшении количества и доли участия поздне-сукцессионных видов (ель, пихта, клен, липа) с одновременным увеличением доли ранне-сукцессионных видов (береза, ива, осина). Также отмечается значительное изменение в видовом составе и структуре травяно-кустарничкового яруса.

Распределение популяций P. abies, A. sibirica, P. tremula, B. pubescens, S. caprea в фоновых и нарушенных фитоценозах по ярусам

Распределение древесных видов по ярусам в фоновых и нарушенных фитоценозах представлено на рис. 7.

Осина и береза пушистая (*Betula pubescens Ehrh.*) в фитоценозах фоновых участков отмечены только в составе верхнего полога (ярус А) древостоя (рис. 7А). Подобная картина наблюдается на вырубках 25 летней давности, где береза пушистая доминирует только в верхнем ярусе древостоя (рис. 7В). В фитоценозах постветровальных участков береза пушистая встречается во всех ярусах, достигая максимальной численности в подъярусах В и С (рис. 7Б). Разный характер участия лиственных пород в ярусах древостоя на 25 год после разных вариантов нарушений, вероятно, связан со сроками дифференциации деревьев по высотам и скоростью процессов естественного изреживания молодняков в фитоценозах вырубок и постветровальных участков.

Ель принимает участие в формировании всех ярусов (подъярусов) фитоценозов фоновых участков с постепенным снижением численности от подъяруса A_1 до B_1 и с резким увеличением численности в подъярусе B_2 и C (рис. 7А). В фитоценозах постветровальных участков ель также принимает участие во всех ярусах древостоя, конкурируя по численности с березой пушистой (рис. 7Б). На вырубках, в отличие от фитоценозов фоновых и постветровальных участков (рис. 7В), ель принимает незначительное участие в формировании яруса A древостоя, по численности значительно уступает березе пушистой, но доминирует в ярусах B и C . Таким образом наименьшая доля участия ели в верхнем ярусе наблюдается в фитоценозах, сформировавшихся на месте сплошной вырубке, что свидетельствует об их большей трансформации после антропогенного нарушения по сравнению естественным нарушением.

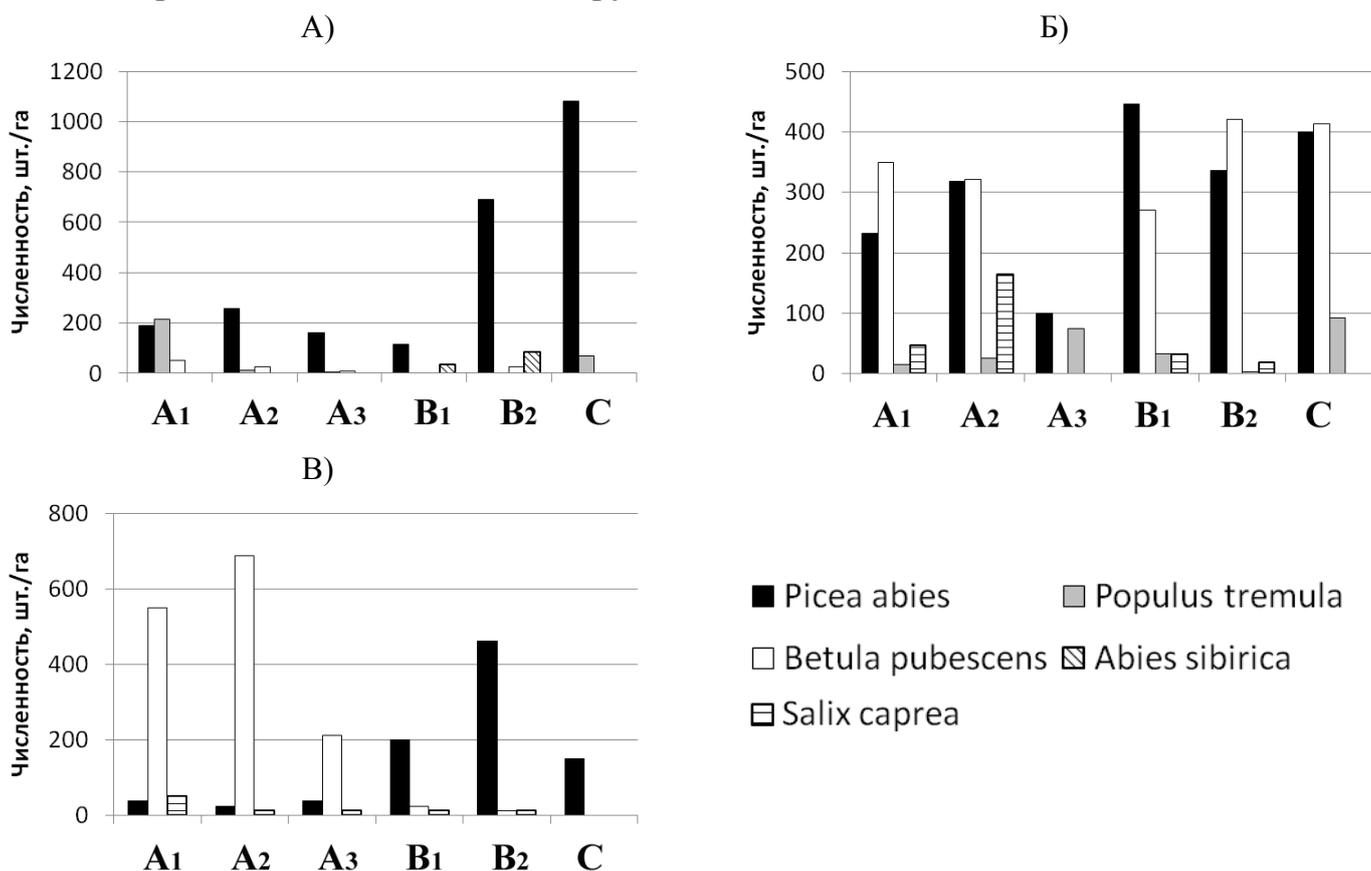


Рис. 7. Распределение популяций *P. abies*, *A. sibirica*, *P. tremula*, *B. pubescens*, *S. caprea* по ярусам (А – фитоценозы фоновых участков; Б – фитоценозы постветровальных участков; В – фитоценозы вырубки)

Ива козья на фоновых участках отнесена к категории подлеска и встречалась очень редко (рис. 8). На постветровальных участках ива принимает активное участие в формировании первого яруса фитоценозов (рис. 7Б), образуя группы порослевых побегов. На вырубках участие ивы в формировании верхнего яруса – незначительное (рис. 7В).

Встречаемость ранне- и поздне-сукцессионных древесных видов в фоновых и нарушенных фитоценозах

Сравнение встречаемости ранне- и поздне-сукцессионных древесных видов (Смирнова, и др. 2002) в фитоценозах вырубок, постветровальных и фоновых участков представлено на рис. 8.

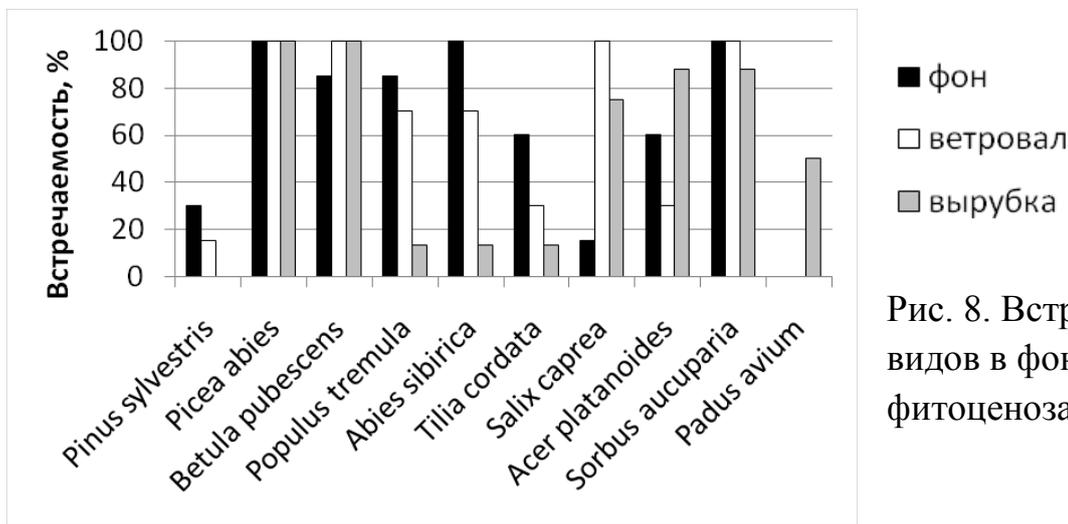


Рис. 8. Встречаемость древесных видов в фоновых и нарушенных фитоценозах

Среди поздне-сукцессионных видов в фитоценозах фоновых, постветровальных участков, а также в рубках стабильно встречается только ель европейская и рябина обыкновенная (рис. 8). Встречаемость пихты и липы, по сравнению с фоновыми участками, сокращается как на постветровальных участках, так и на рубках, где она достигает минимума, противоположная картина наблюдается у клена (рис. 8).

Среди ранне-сукцессионных видов 100% коэффициент встречаемости наблюдается только у березы пушистой. Примечательно, что встречаемость осины (типичного пионерного вида в южнотаежных лесах) уменьшается от фоновых фитоценозов к постветровальным, достигая минимума на рубках, обратная картина наблюдается у ивы козьей (рис. 8).

Таким образом, большее изменение встречаемости ранне- и поздне-сукцессионных древесных видов отмечается в растительных сообществах, восстанавливающихся после антропогенного нарушения (сплошная рубка) по сравнению с естественным (массовый ветровал).

Картосхема восстанавливающихся растительных формаций на постветровальных участках

На основе геоботанических, рекогносцировочных описаний, а также анализа космического снимка (QuickBird, разрешением 2.4 м/пиксел, период съемки – зима 2005 года), создана картосхема восстанавливающихся постветровальных формаций с доминированием в древостое лиственных и хвойных видов, а также произведен расчет соотношения их площадей (табл. 3).

Таблица 3

Соотношение площадей фитоценозов с доминированием в древостое лиственных и хвойных видов на постветровальных участках

Формации	Площадь		Повреждения, %
	в гектарах	в процентах	
березовые и смешанные березо-еловые	185	65	80-100
еловые	100	35	около 60
Итого	285	100	-

Расчеты показали, что на 65% площади постветровальных участков произошла смена доминирующей породы, восстановление фитоценозов пошло через смешанные березово-еловые или березовые древостой. На 35% площади массового ветровала наблюдается восстановление фитоценозов с доминированием ели в ярусе древостоя (табл. 3).

Отмечено, что дифференциация фитоценозов на постветровальных площадях по доминированию в древостоях хвойных или лиственных пород (табл. 3), произошла на участках с разной степенью повреждения древесного яруса ветром (под степенью повреждения понимали процент нарушения в сомкнутости верхнего яруса). Степень повреждения была установлена на основе анализа разновременных (до и после нарушения) космических снимков Landsat (1984, 1989 г.) и составленного по данным снимкам уравнения регрессии для коротковолнового вегетационного индекса ($\Delta SWVI$).

Таким образом, степень повреждения древесного яруса является одним из факторов дифференциации фитоценозов по доминированию в древостое хвойных и лиственных пород на постветровальных участках (рис. 9).

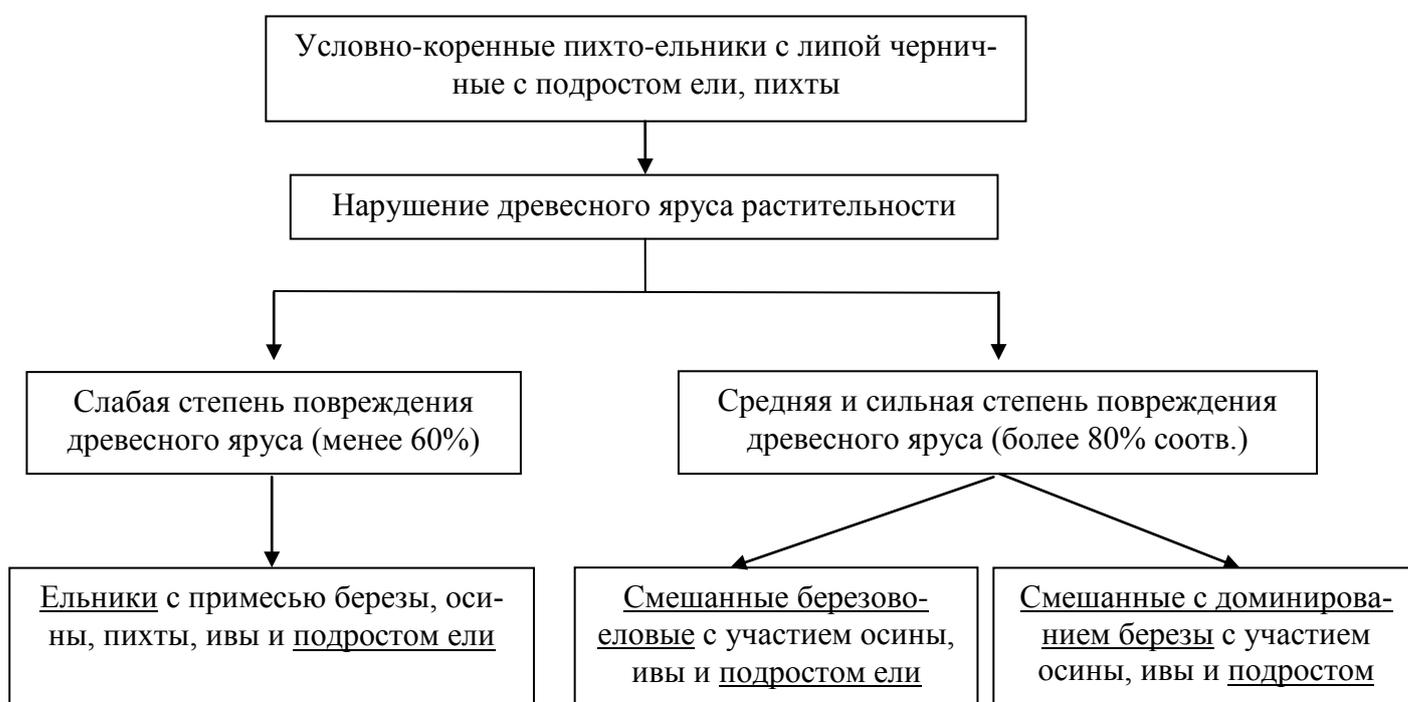


Рис. 9. Схема восстановления древесного яруса фитоценозов на постветровальных участках на месте условно-коренных пихто-ельников черничников

Видовое разнообразие фоновых и нарушенных фитоценозов

Выполнен анализ биологического разнообразия восстанавливающихся фитоценозов через 25 лет после нарушения условно-коренного пихто-ельника черничника массовым ветровалом и сплошной рубкой в Кологривском районе Костромской области. Установлено (табл. 4), что спустя 25 лет в нарушенных фитоценозах отмечается равное количество видов (видовое богатство). В фоновых фитоценозах по сравнению с фитоценозами вырубок и постветровальными фитоценозами число видов меньше. Среднее количество видов на площадке (видовая насыщенность) в фоновых фитоценозах статистически

значимо отличается от среднего количества видов в постветровальных фитоценозах и фитоценозах, сформировавшихся на вырубке (табл. 4., вероятность ошибки 1 рода по тесту Манна-Уитни указана над диагональю в табл. 5). Таким образом, спустя четверть века сохраняется тенденция большей видовой насыщенности в нарушенных фитоценозах.

Таблица 4

Видовое богатство и видовая насыщенность фитоценозов фоновых и нарушенных участков

Фитоценозы	Общее количество видов	Видовая насыщенность (травяно-кустарничковый ярус)
фоновых участков	51	10.5±2.3
постветровальных участков	60	12.6±3.1
вырубки	59	21±3.5

Сходство видов растительных сообществ фоновых и постветровальных участков, а также вырубки оценивалось с помощью индекса Жаккара (Мэгарран, 1992). Максимальный коэффициент сходства наблюдается между фитоценозами фоновых и постветровальных участков (56%, табл. 5), минимальный между фитоценозами вырубки и фоновых участков (42%, табл. 5).

Таблица 5

Сравнение травяно-кустарничкового яруса в фоновых и нарушенных фитоценозах по коэффициенту Жаккара (под диагональю) и значения ошибок первого рода при сравнении видовой насыщенности по тесту Манна-Уитни (над диагональю)

Фитоценозы	фоновых участков	постветровальных участков	вырубки
фоновых участков		0.006	<0.001
постветровальных участков	0.56		<0.001
вырубки	0.42	0.49	

Примечание: над диагональю значение ошибки первого рода по тесту Манна-Уитни (серым цветом выделены статистически значимые); под диагональю коэффициент сходства Жаккара.

Сравнение спектра эколого-ценотических групп фитоценозов фоновых и постветровальных участков, а также вырубки (рис. 10) показало, что в нарушенных фитоценозах наблюдается сокращение обилия и встречаемости видов доминирующей бореально-кустарничковой (*V. myrtillus*, *V. vitis-idaea*, *L. borealis* и др.) и бореально-мелкотравной (*O. acetosella*, *M. bifolium*, *R. saxatilis* и др.) групп с одновременным увеличением видов приуроченных к так называемым «нарушенным местообитаниям»: виды высокотравной группы (*A. filix-femina*, *D. expansa*, *C. angustifolium* и др.), виды нитрофильной (*F. vulgaris* и др.) и неморальной группы (*Aegopodium podagraria* L. и др.). Отмечаем, что наибольшие отличия в соотношении ЭЦГ зафиксированы в фитоценозах фоновых и антропогенно нарушенных участков.

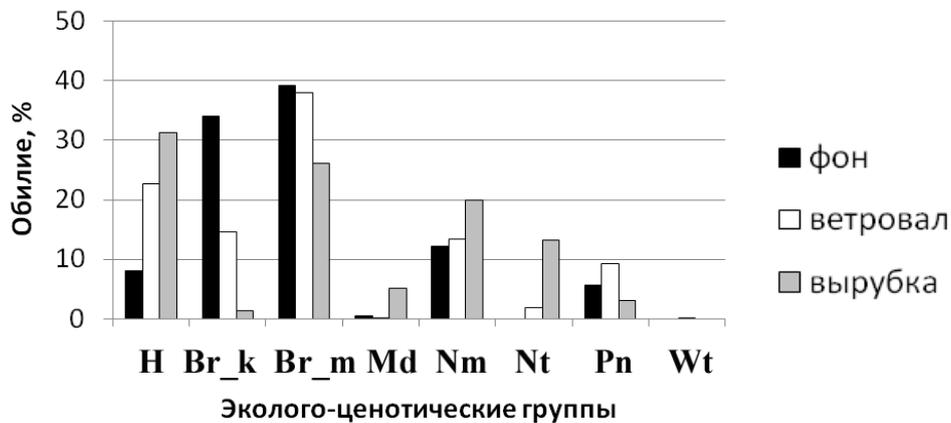


Рис. 10. Спектр эколого-ценотических групп видов травяно-кустарничкового яруса фоновых и нарушенных фитоценозов (условные обозначения см. в разделе Методы и объекты исследования)

Проведенная оценка изменений экологических факторов среды в фоновых и нарушенных фитоценозах на основе экологических свойств видов травяно-кустарничкового яруса (Цыганов, 1983) методом неметрического многомерного шкалирования (Non-metric Multidimensional Scaling (McCune, Grace, 2002; Смирнов и др., 2006)), показала, что основными градиентами, вдоль которых наблюдается варьирование растительности в нарушенных фитоценозах по сравнению с фоновыми, являются - почвенные факторы (богатство азотом, переменность увлажнения и кислотность почв), а также освещенность и температура.

Глава 6. Практические рекомендации по освоению участков массового ветровала

Одной из важных практических задач лесного хозяйства является вопрос о выборе способов хозяйственного освоения (расчистки, разработки, разбора) постветровальных территорий (Алесенков, 2000; Schönenberger et al., 2002; Pisson et al., 2007).

При разработке рекомендаций мы опирались на следующее положение, что массовый (катастрофический) ветровал – есть естественный процесс в лесах бореальной зоны (Скворцова и др., 1983; Уланова, 2006), следовательно, в ходе эволюции в биогеоценозах выработались механизмы восстановления после данного вида нарушения. При этом, с нашей точки зрения, основная задача лесного хозяйства состоит в том, чтобы ускорить данный лесовосстановительный процесс.

На основании данного положения, рекомендуем не осуществлять разбор участков массового ветровала там, где это экономически нерентабельно, а также не несет высоких рисков лесных пожаров и вспышек энтомовредителей. В качестве профилактических мер рекомендуем отграничивать данные участки противопожарными разрывами. Спустя 20-25 лет на данных территориях становится возможным назначение и проведение рубок ухода (прочистки, прореживание) за главной (целевой) древесной породой.

В случае необходимости к назначению и проведению лесохозяйственных мероприятий по освоению постветровальных участков нужно иметь дифференцированный подход. На примере исследованного условно-коренного пихто-ельника черничника можно

рекомендовать осуществлять разбор ветровала на участках с высокой степенью повреждения верхнего яруса древостоя (от 80-100%) с последующим искусственным лесовосстановлением и рубками ухода, т.к. на данных территориях возможна нежелательная, с точки зрения лесного хозяйства, смена доминирующих пород (ели на березу). На участках, с низкой степенью повреждения (менее 60%) осуществлять разбор ветровала – нецелесообразно, т.к. здесь происходит успешное естественное восстановление фитоценозов с преобладанием ели в древостое.

ВЫВОДЫ

1. За период с 1984 по 2011 гг. на территории Костромской и сопредельных областей обнаружен 21-ин массовый ветровал, различающийся по площади (от 56.3 га до более чем 60424.7 тыс. га), протяженности (от 4 до более чем 240 км), направлению ураганного ветра и пространственной структуре нарушений лесного покрова. Относительно мелкие по площади массовые ветровалы встречаются чаще (площадью до 2 тыс. га – 16 шт.), чем крупные (площадью более 2 тыс. га – 5 шт.).

2. Среди обнаруженных массовых ветровалов прослеживается тенденция двух основных форм нарушений лесного покрова - линейная и линейно-веерная.

3. Вероятность повреждения древостоев в зависимости от таких таксационных показателей как полнота, типа леса и бонитета не установлена. Во всех типах леса, при любых значениях полноты и бонитета наблюдается равномерное повреждение древесного яруса фитоценозов ураганным ветром. Однако прослеживается связь нарушения с возрастом, высотой и преобладающей породой (отмечена выборочность повреждения древостоев возрастом более 40 лет, высотой более 16 м).

4. На месте условно-коренных пихто-ельников черничников на 25-й год постветровальной сукцессии формируется комплекс фитоценозов с преобладанием еловых и смешанных березово-еловых древостоев, в отличие от участков сплошной вырубке, где наблюдается формирование практически чистых березняков. На вырубке происходит уменьшение встречаемости поздне-сукцессионных видов деревьев (пихта, липа), что свидетельствует о большой трансформации состава древесного яруса фитоценозов после антропогенного воздействия.

5. Данные о видовом богатстве, видовой насыщенности в фитоценозах фоновых (соотв. 53, 10.5 ± 2.3), постветровальных (соотв. 61, 12.6 ± 3.1) участков и вырубке (соотв. 61, 21 ± 3.5), а также коэффициенте сходства (по Жаккару) и сравнения спектров эколого-ценотических групп свидетельствуют о большем изменении состава и структуры растительных сообществ после антропогенного нарушения (сплошной вырубке), по сравнению с естественным нарушением (массовым ветровалом).

6. Показано отсутствие экологической целесообразности проведение лесохозяйственных мероприятий по разбору участков массового ветровала на месте условно-коренных пихто-ельников черничников, при условии относительно низких рисков возникновения лесных пожаров и вспышек энтомо-вредителей.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В журналах из списка перечня ВАК:

1. **Петухов, И.Н.** Пространственная структура массовых ветровалов на территории Костромской области / И. Н. Петухов, А. В. Немчинова // Вестник Костромского государственного университета им. Н.А. Некрасова – 2011. – №1 (3). – С. 19–24.
2. **Петухов, И.Н.** Характер и степень повреждения лесных фитохор на участке массового ветровала Костромской области / И.Н. Петухов, А.В. Немчинова, С.А. Грозовский, Н.В. Иванова // Вестник Костромского государственного университета им. Н.А. Некрасова – 2011. – №5–6. – С. 23–32.
3. Немчинова, А.В. Эколого-ценотическая индикация свойств южнотаежных ландшафтов на примере лесов заповедника «Кологривский лес» / А.В. Немчинова, **И.Н. Петухов**, А.С. Кошечева, А.В. Хорошев, Н.В. Иванова // Вестник Костромского государственного университета им. Н.А. Некрасова – 2012. – №4. – С.17–21.
4. **Петухов, И.Н.** Ветровальные нарушения лесного покрова в Костромской области и на сопредельных территориях в 1984-2011 гг. / И.Н. Петухов, А.В. Немчинова // Лесоведение – 2014 – №6. – С. 17–25.
5. **Petukhov, I.N.** Windthrows in Forests of Kostroma Oblast and the Neighboring Lands in 1984-2011 / I.N. Petukhov, A.V. Nemchinova // Contemporary Problems of Ecology – 2015 – №7 – p. 901–908.

В прочих изданиях:

6. **Петухов, И.Н.** Характеристика пространственной структуры растительного покрова на месте массовых ветровалов Костромской области / И. Н. Петухов // БИОЛОГИЯ НАУКА XXI ВЕКА: 15-я Международная Пушкинская школа – конференция молодых ученых (Пушино, 18-22 апреля 2011 года). Сборник тезисов. – Пушино. – 2011. – С. 227–228.
7. **Петухов, И.Н.** Картографическая база данных массовых ветровалов на территории Костромской области / И. Н. Петухов // Студенты и молодые ученые КГТУ – производству: материалы 63-й межвузовской научно-технической конференции молодых ученых и студентов: в 2 т. Т. 2. – Кострома. КГТУ – 2011. – С. 162–163.
8. **Петухов, И.Н.** Влияние массового ветровала на состав и структуру лесных сообществ / И. Н. Петухов // Современные проблемы популяционной биологии, геоботаники и флористики: материалы международной научной конференции, посвященной 110-летию А.А. Уранова т. 1 – Кострома. КГУ им. Н.А. Некрасова. – 2011. – С. 343–347.
9. Владимирова, Н.А. Оценка воздействия катастрофического ветровала на лесные экосистемы Костромской области по данным космической съемки Landsat / Н.А. Владимирова, Е.Г. Малахова, А.М. Крылов, И.В. Глушков, **И.Н. Петухов** // Современные проблемы популяционной биологии, геоботаники и флористики: материалы международной научной конференции, посвященной 110-летию А.А. Уранова т. 1 – Кострома. КГУ им. Н.А. Некрасова. – 2011. – С. 299–302.
10. **Петухов, И.Н.** Формирование растительности в первый год после массового ветровала 2010 г. в Костромской области / И.Н. Петухов, С.А. Грозовский // БИОЛОГИЯ

НАУКА XXI ВЕКА: 16-я Международная Пущинская школа – конференция молодых ученых (Пущино, 16-20 апреля 2012 года). Сборник тезисов. – Пущино. – 2012. – С. 377–378.

11. **Петухов, И.Н.** Формирование лесных фитоценозов на постветровальных участках в подзоне южной тайги (Костромская область) / И.Н. Петухов // **БИОЛОГИЯ НАУКА XXI ВЕКА: 17-я Международная Пущинская школа – конференция молодых ученых** (Пущино, 21-26 апреля 2013 года). Сборник тезисов. – Пущино. – 2013. – С. 552–553.

Подписано в печать 22.12.2015. Формат 60×84 1/16.

Бумага офсетная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 1. Заказ № 98. Тираж 100 экз.

Отпечатано с готового оригинал-макета
В РИО КГТУ
156000, г. Кострома, ул. Держинского, 17.