

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
«БОТАНИЧЕСКИЙ САД» УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

*На правах рукописи*

**Иванова Наталья Сергеевна**

**ЛЕСОТИПОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ  
БИОРАЗНООБРАЗИЯ И ВОССТАНОВИТЕЛЬНО-ВОЗРАСТНОЙ  
ДИНАМИКИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ГОРНЫХ ЛЕСОВ ЮЖНОГО  
И СРЕДНЕГО УРАЛА**

06.03.02. – Лесоведение, лесоводство, лесоустройство и лесная таксация

Диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук

Екатеринбург – 2019

## Оглавление

<b>Введение</b>		<b>7</b>
<b>Глава 1.</b>	<b>Анализ изученности восстановительной динамики лесной растительности.....</b>	<b>15</b>
	Выводы.....	44
<b>Глава 2.</b>	<b>Объекты и методы исследований.....</b>	<b>46</b>
	2.1. Район исследований.....	46
	2.2. Объекты исследований.....	48
	2.3. Методологические подходы и методы полевых исследований.....	51
	2.3.1. Методологические подходы.....	51
	2.3.2. Методы изучения восстановительно-возрастной динамики лесной растительности.....	51
	2.3.3. Методы изучения древостоя.....	52
	2.3.4. Методы изучения подроста древесных растений.....	53
	2.3.5. Методы изучения травяно-кустарничкового яруса.....	53
	2.3.6. Почвенные исследования.....	57
	2.3.7. Номенклатура.....	57
	2.4. Методы статистического анализа данных.....	59
	2.4.1. Описательные статистики.....	59
	2.4.2. Дисперсионный анализ.....	59
	2.4.3. Апостериорные сравнения средних значений.....	59
	2.4.4. Анализ соответствий.....	60
	2.4.5. Факторный анализ.....	61
	2.4.6. Экологические шкалы.....	61
	2.4.7. Ранговые распределения.....	64
	2.5. Методы нелинейной динамики для анализа прогнозирования динамики лесов.....	65
	2.5.1. Системы логистических дифференциальных уравнений...	65
	2.5.2. Теория катастроф.....	66
<b>Глава 3.</b>	<b>Природные условия района исследований.....</b>	<b>69</b>
	3.1. Географическое положение и климат .....	69
	3.2. Рельеф и геологическое строение.....	74

3.3. Почвенный покров Южного и Среднего Урала .....	76
3.4. Растительность Среднего и Южного Урала.....	79
<b>Глава 4. Исследование структуры и биоразнообразия условно-коренных лесов Южного и Среднего Урала.....</b>	<b>84</b>
4.1. Актуальность и задачи изучения биоразнообразия условно-коренных лесов.....	84
4.2. Лесотипологические особенности условно-коренных лесов западных низкогорий Южного Урала.....	85
4.3. Лесотипологические особенности условно-коренных лесов Зауральской холмисто-предгорной провинции Среднего Урала.....	92
4.3.1. Особенности типов лесорастительных условий и биоразнообразии типов леса.....	92
4.3.2. Особенности условно-коренных лесов периодически сухих местообитаний.....	95
4.3.3. Особенности условно-коренных лесов устойчиво свежих местообитаний.....	99
4.3.4. Особенности условно-коренных лесов свежих, периодически влажных местообитаний.....	103
4.3.5. Особенности условно-коренных лесов слабо дренированных и заболоченных местообитаний.....	107
4.4. Построение и анализ ординационных диаграмм условно-коренных лесов Южного и Среднего Урала.....	112
Выводы.....	118
<b>Глава 5. Закономерности естественного возобновления древесных растений под пологом древостоев, на сплошных вырубках и гарях в горах Южного и Среднего Урала.....</b>	<b>120</b>
5.1. Актуальность проблемы и задачи исследований.....	120
5.2. Закономерности естественного возобновления ели сибирской и пихты сибирской в Западных низкогорьях Южного Урала.....	121
5.2.1. Закономерности естественного возобновления ели сибирской и пихты сибирской под пологом темнохвойных	121

лесов.....	
5.2.2. Лесотипологические особенности вырубок.....	127
5.2.3. Закономерности естественного возобновления ели сибирской и пихты сибирской под пологом коротко-производных березняков.....	129
5.2.4. Закономерности естественного возобновления ели сибирской и пихты сибирской под пологом длительно-производных березняков.....	132
5.2.5. Закономерности естественного возобновления ели сибирской и пихты сибирской под пологом устойчиво-производных осинников.....	136
5.3. Закономерности естественного возобновления сосны обыкновенной, ели сибирской и пихты сибирской в Зауральской холмисто-предгорной провинции Среднего Урала.....	138
5.3.1. Закономерности естественного возобновления хвойных древесных растений под пологом условно-коренных лесов.....	138
5.3.2. Лесотипологические особенности вырубок и гарей.....	142
5.3.3. Сравнительный анализ динамики процессов естественного возобновления сосны и березы на сплошных вырубках и гарях.....	145
Выводы.....	148

<b>Глава 6. Влияние сплошных рубок и пожаров на дивергенцию фитоценозов в пределах типов горных лесов Южного и Среднего Урала.....</b>	<b>150</b>
6.1. Гипотезы дивергенции и конвергенции экодинамических рядов формирования лесных фитоценозов.....	150
6.2. Дивергенция эколого-динамических рядов формирования лесных фитоценозов в западных низкогорьях Южного Урала.....	152
6.3. Дивергенция эколого-динамических рядов формирования лесных фитоценозов в Зауральской холмисто-предгорной провинции Среднего Урала.....	167
6.4. Сравнительный анализ структуры травяно-кустарничкового яруса	

условно-коренных лесов и вырубок Среднего Урала.....	178
Выводы.....	182
<b>Глава 7. Системы логистических дифференциальных уравнений для анализа и прогнозирования восстановительно-возрастной динамики лесной растительности.....</b>	<b>183</b>
7.1. Основные положения и задачи исследований.....	183
7.2. Анализ закономерностей совместного роста сосны ( <i>Pinus sylvestris</i> L.) и березы ( <i>Betula pubescens</i> Ehrh., <i>B. pendula</i> Roth) после сплошных рубок и пожаров.....	185
7.3. Анализ особенностей сопряженности динамики ярусов лесной растительности.....	188
Выводы.....	188
<b>Глава 8. Анализ и прогнозирование восстановительно-возрастной динамики лесной растительности методами теории катастроф.....</b>	<b>190</b>
8.1. Актуальность применения методов теории катастроф в лесоведении и задачи наших исследований.....	190
8.2. Первый этап: построение теоретической модели.....	191
8.2.1. Выявление управляющих параметров.....	191
8.2.2. Построение математической модели.....	192
8.3. Второй этап: верификация модели.....	193
8.3.1. Выбор типа леса и анализ данных о восстановительно-возрастной динамике .....	193
8.3.2. Переход к безразмерной форме.....	196
8.3.3. Построение потенциальных функций.....	198
8.4. Апробация полученной модели и схемы анализа для других типов леса и деструктивных воздействий.....	200
Выводы.....	204
<b>Глава 9. Рекомендации по использованию результатов исследований.....</b>	<b>206</b>
<b>Заключение.....</b>	<b>212</b>
<b>Список литературы.....</b>	<b>216</b>

<b>Приложение 1. Комплекс признаков, описывающих экотоп .....</b>	<b>275</b>
<b>Приложение 2. Классификация местоположений .....</b>	<b>276</b>
<b>Приложение 3. Порядок обозначений для типа фитоценоза .....</b>	<b>277</b>
<b>Приложение 4. Схема типов лесорастительных условий и характеристика коренных (условно-коренных) типов леса на стадиях спелости и перестойности Зауральской холмисто-предгорной провинции, южно таяжный лесорастительный округ.....</b>	<b>278</b>
<b>Приложение 5. Морфология почв условно-коренных лесов Зауральской холмисто-предгорной провинции.....</b>	<b>284</b>
<b>Приложение 6. Результаты проверки статистической достоверности различий между условно-коренными лесами Среднего Урала по показателю видовой насыщенности травяно-кустарничкового яруса на основе HSD-теста.....</b>	<b>288</b>
<b>Приложение 7. Результаты проверки статистической достоверности различий между условно-коренными лесами Среднего Урала по показателю проективного покрытия травяно-кустарничкового яруса на основе HSD-теста..</b>	<b>289</b>
<b>Приложение 8. Результаты проверки статистической достоверности различий между условно-коренными лесами Среднего Урала по показателю фитомассы травяно-кустарничкового яруса на основе HSD-теста.....</b>	<b>290</b>
<b>Приложение 9. Результаты сравнительного анализа травяно-кустарничкового яруса вырубок в различных типах леса Среднего Урала на основе HSD-теста...</b>	<b>291</b>
<b>Приложение 10. Справка о внедрении результатов диссертационной работы в Мексике.....</b>	<b>292</b>
<b>Приложение 11. Справка о внедрении результатов диссертационной работы в Греции.....</b>	<b>297</b>
<b>Приложение 12. Справка о внедрении результатов диссертационной работы в США..</b>	<b>301</b>

## Введение

**Актуальность.** В настоящее время повсеместно происходит сокращение площади лесов, что становится причиной глобальных негативных эффектов и снижает стабильность биосферы (Павлов, Букварева, 2007; Global Biodiversity Outlook, 2006). Наиболее значимыми факторами трансформирующими структуру и функции лесов, требующими глубокого изучения, являются рубки, пожары и климатические изменения, на фоне которых протекают восстановительно-возрастные сукцессии экосистем (Westgate et al., 2013; Kellomäki, 2016; Schaphoff et al., 2016; Murray et al., 2017). С проблемой динамики лесов тесно связаны и активно исследуются проблемы сохранения биоразнообразия (Lindenmayer et al., 2000; Мартыненко и др., 2003, 2007; Павлов, Букварева, 2007; Самсонова и др., 2017; Peter, Harrington, 2018; Wu et al., 2018) и устойчивости экосистем (Chen, Wang, 2008; Павлов, Букварева, 2007; Morin et al., 2014). По мере признания биосферной роли лесов актуальность исследований, направленных на сохранение биоразнообразия и лесовосстановление, увеличивается (Baselga, 2010; Трофимова и др., 2015; Zobel, 2016; Liang et al., 2016; Coppi et al., 2016; Groote et al., 2017; Badalamenti et al., 2018; Florez et al., 2018; Buffa et al., 2018; Jayathunga et al., 2018). В то же время сложность лесных экосистем, нелинейность и поливариантность их динамики стимулировали развитие моделирования динамики лесов (Гуц, Володченкова, 2012; Суховольский и др., 2014). Тем не менее, несмотря на признание важности всех компонентов лесных фитоценозов для устойчивого функционирования экосистем, детально изучен только древостой. Особенности динамики подчиненных ярусов фитоценозов в процессе лесных сукцессий исследованы до настоящего времени недостаточно.

В Российской Федерации расположено более 20% лесов нашей планеты (Smith et al., 2001). Выполняемые ими средообразующие и водоохранные функции признаются важными для стабилизации климата и экологической обстановки (Global Biodiversity Outlook, 2006). Леса Урала представляют собой часть пояса хвойных лесов Северного полушария. Длительное интенсивное лесопользование на Урале привело к увеличению площадей вырубок и молодняков, повсеместной смене коренных лесов производными, снижению их стабильности и экосистемных функций. Исходя из этого, исследования региональных и лесотипологических особенностей биоразнообразия и восстановительно-возрастной динамики горных лесов Урала становятся особенно актуальными.

**Степень разработанности темы.** Несмотря на обилие публикаций, посвященных проблемам динамики лесной растительности, исследованию глобальных и региональных дигрессивных и восстановительно-возрастных смен (Смолоногов, 1960, 1990; Aichinger, 1967, 1973; Маслаков, Колесников, 1968; Санников, 1970, 1992; Цветков, 1972, 1989; Любимов и др.,

2017; Canullo et al., 2017; Florez et al., 2018; Peter, Harrington, 2018; Vanaš et al., 2018), до настоящего времени до конца не изучены механизмы поддержания уровня биоразнообразия, устойчивости и тенденций динамики лесных экосистем. Кроме того, имеющиеся современные методы анализа данных в связи со сложностью лесных экосистем не всегда позволяют получить необходимую информацию о структуре и динамике лесов, имеет место неопределенность и риск получения неточных и ложных результатов. Продолжает сохраняться большой разрыв между математической и полевой (экспериментальной) экологией леса (Суховольский, 2011). Нелинейность и поливариантность их динамики привела к пониманию того, что решение проблемы не может быть достигнуто в рамках одного научного направления, а необходим системный междисциплинарный подход, который позволит рассмотреть проблему комплексно и с различных точек зрения. Однако междисциплинарные исследования до сих пор остаются редкими (Gewin, 2014; Ayllón et al., 2018).

**Цель.** Исследование региональных и лесотипологических особенностей структуры и биоразнообразия растительности условно-коренных лесов и их восстановительно-возрастной динамики после сплошных рубок и пожаров в западных низкогорьях Южного Урала и Зауральской холмисто-предгорной провинции Среднего Урала.

**Задачи:**

1. Исследовать факторы, детерминирующие уровень биоразнообразия, видовую структуру и дифференциацию растительности западных низкогорий Южного Урала и Зауральской холмисто-предгорной провинции Среднего Урала.
2. Дополнить схемы типов леса Е.М. Фильрозе (1983) для Южного Урала и кадастр типов леса, составленный Б.П. Колесниковым, Р.С. Зубаревой и Е.П. Смолоноговым (1973) для Среднего Урала, сведениями о структуре и продуктивности травяно-кустарничкового яруса, ранговых распределениях обилий видов растений.
3. Выявить особенности естественного возобновления основных хвойных лесообразователей под пологом древостоев и на открытых местообитаниях (сплошных вырубках и гарях) в горах Южного и Среднего Урала.
4. Исследовать влияние сплошных рубок на посткатастрофическую дивергенцию эколого-динамических рядов формирования фитоценозов в пределах типов леса.
5. На основе систем связанных дифференциальных логистических уравнений формализовать анализ восстановительно-возрастной динамики лесной растительности после сплошных рубок и пожаров, выявить динамические характеристики для основных эколого-динамических рядов восстановления фитоценозов.



б. В целях обоснованного нелинейного количественного прогнозирования динамики лесной растительности разработать прогнозные модели системы лес-вырубка (лес-гарь) на основе теории катастроф и верифицировать их на примере доминирующих типов леса Среднего Урала.

**Связь темы диссертационной работы с плановыми исследованиями и научными программами Ботанического сада УрО РАН.** Исследования проводились в рамках планов НИР Лаборатории популяционной биологии древесных растений и динамики леса Ботанического сада УрО РАН по теме: «Исследование закономерностей динамики лесных экосистем на Урале с целью сохранения их биоразнообразия в условиях антропогенного воздействия», по разделу: «Изучение закономерностей естественной и антропогенной динамики лесной растительности и почвенных свойств на Урале. Динамика компонентов лесных биогеоценозов в рядах их восстановления» (номер государственной регистрации темы: 01.2.00900756) и теме «Изучение эколого-географических закономерностей структуры, функций и динамики лесных ценопопуляций и экосистем и обоснование системы мер по оптимизации их сохранения, воспроизводства и продуктивности», по разделу: «Разработка концепции и классификация эколого-динамических рядов развития биогеоценозов в пределах коренных типов леса генетической типологии» (номер государственной регистрации АААА-А17-117072810009-8).

**Научная новизна.** На основе комплексных многолетних исследований, проведенных автором, получены и проанализированы с помощью традиционных методов анализа, методов нелинейной динамики и теории катастроф количественные данные о структуре, уровне биоразнообразия и восстановительно-возрастной динамике растительности основных типов леса западных низкогорий Южного Урала и Зауральской холмисто-предгорной провинции Среднего Урала. Выявлены факторы, детерминирующие структуру и биоразнообразие условно-коренных лесов. Дополнены схемы типов леса, составленные Е.М. Фильрозе для Южного Урала (1983), и кадастр типов леса, разработанный Б.П. Колесниковым, Р.С. Зубаревой и Е.П. Смолоноговым (1973) для Среднего Урала, сведениями о структуре и продуктивности травяно-кустарничкового яруса. Впервые для условно-коренных лесов получены ранговые распределения обилий видов растений, которые можно считать эталонными для типов леса изученных регионов. Впервые в широком спектре лесорастительных условий проведено детальное исследование процессов естественного возобновления ели сибирской, пихты сибирской и сосны обыкновенной под пологом условно-коренных и производных древостоев, на сплошных вырубках и гарях. На основе выявленных особенностей возрастной структуры подраста доказано, что в горах Южного Урала естественное возобновление ценопопуляций

главных лесообразующих видов (ели сибирской и пихты сибирской) под пологом темнохвойных лесов вполне успешное, но их последующее возобновление на сплошных вырубках и под пологом производных лиственных древостоев крайне неудовлетворительное. В условно-коренных лесах Зауральской холмисто-предгорной провинции наиболее обильное естественное возобновление сосны обыкновенной выявлено в сосняках брусничниковых и ягодниковых, наиболее обильное естественное возобновление ели сибирской – в ельниках-сосняках зеленомошничково-ягодниковых. Подрост как ели сибирской, так и сосны обыкновенной в этих типах леса является разновозрастным. Для открытых местообитаний установлено, что во всем топоэкологическом профиле численность подроста сосны обыкновенной на гарях больше, чем на вырубках, однако с увеличением мощности почв численность подроста сосны обыкновенной быстро снижается как на вырубках, так и на гарях. Впервые изучены закономерности дифференциации лесной растительности под воздействием сплошных рубок в наиболее продуктивных и распространенных типах еловых лесов Южного и Среднего Урала. Установлено, что даже в случае коротко-восстановительных смен сплошные рубки на Урале приводят к резким изменениям структуры всех ярусов лесных фитоценозов и ранговых распределений обилий видов растений, которые сохраняются длительное время (более 100 лет). Впервые для лесов Урала на основе систем взаимосвязанных дифференциальных логистических уравнений формализованы анализ и прогнозирование восстановительно-возрастной динамики растительности после сплошных рубок и пожаров. Впервые для преобладающих типов леса получены динамические характеристики экосистем (характерные периоды динамики, характерные моменты времени и время необходимое для восстановления исходной структуры), установлены характер и уровень взаимозависимостей между ярусами лесной растительности. Впервые в рамках теории катастроф формализовано существование в пределах одного экотопа альтернативных линий сукцессионной динамики, предложены объективные, количественные методы оценки устойчивости: вид потенциальной функции и величина восприимчивости. Проведенные расчеты показали хорошее соответствие теории и экспериментальных данных для различных типов леса.

**Теоретическая и практическая значимость.** Полученные результаты вносят вклад в понимание особенностей восстановительно-возрастной динамики лесных биогеоценозов в наиболее распространенных типах горных лесов Южного и Среднего Урала. Выявленные ценоэкологические и экотопические особенности естественного возобновления сосны обыкновенной, ели сибирской и пихты сибирской – главных лесообразующих видов горных лесов Урала – могут служить основой изучения и управления естественными лесовосстановительными процессами. Принципиальное значение для обоснования способов лесовосстановления в горных условиях имеет, установленная в работе, роль предварительных генераций подроста ели

сибирской и пихты сибирской. В связи с угрозой уничтожения коренных лесов, полученные эталонные ранговые распределения фитомассы растений травяно-кустарничкового яруса имеют особую ценность. Предложенные нелинейные модели могут использоваться для прогнозирования динамики лесной растительности в условиях изменения климата и антропогенного воздействия, выявления кризисных ситуаций, разработки стратегии устойчивого лесопользования. В целом полученные в диссертационной работе результаты важны для решения фундаментальной проблемы сохранения биоразнообразия природных комплексов, как основы стабильности биосферы. Материалы диссертации использованы при подготовке международных монографий-учебников: «Autoecology and Ecophysiology of Woody Shrubs and Trees: Concepts and Applications» (Maiti, Rodriguez, Ivanova, 2016) издательства «John Wiley and Sons, Ltd», «Applied Biology of Woody Plants» издательства «American Academic Press» (Maiti, Rodriguez, Kumari, 2016), «Biology, Productivity and Bioenergy of Timber-Yielding Plants» (Heya et al., 2017) издательства «Springer», используются в преподавании дисциплин "Экологические основы природопользования" и "Математические методы в биологии" на кафедре экологии и естествознания Института агроэкологических технологий Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Красноярский государственный аграрный университет». Построенные модели и полученные результаты используются для дальнейшего развития методов моделирования лесных экосистем на основе самоорганизующихся нейронных сетей (Ланкин и др., 2012) и теории динамических игр (Володченкова, Гуц, 2018).

**Методология и методы исследований.** Диссертационная работа основана на принципах генетической лесной типологии (Колесников, 1956) и общепринятых методиках лесогеоботанических исследований (Сукачев, Зонн, 1961; Побединский, 1966; Александрова, 1969; Анучин, 1982; Маслаков, 1980; Методы изучения..., 2002). На пробных площадях (0,25-0,5 га) проведена таксация древостоя, изучен подрост древесных растений, травяно-кустарничковый ярус. Статистический анализ данных (регрессионный, дисперсионный анализы и неотклоняемый анализ соответствий (DCA)) выполнены в среде программирования R (Oksanen, 2013). Для исследования и прогнозирования динамики лесных экосистем использованы системы зависимых дифференциальных логистических уравнений (Lotka, 1925; Базыкин, 1985) и теория катастроф (Thom, Zeeman, 1975; Gilmore, 1993) (в частности, катастрофа сборки). Решение дифференциальных уравнений выполнено в программе MathCAD 2001 по методикам д.ф.-м.н. проф. Г.П. Быстрая с использованием разработанных им программных продуктов (Быстрой и др., 2004). Более подробно этот вопрос рассмотрен в главе 2.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Уровень биоразнообразия типов леса западных низкогорий Южного Урала связан в первую очередь со значительным перепадом высот над уровнем моря, который оказывает влияние на действующие климатические и эдафические факторы. Биоразнообразие типов леса Зауральской холмисто-предгорной провинции Среднего Урала зависит в большей степени от факторов, находящихся в зависимости от рельефа: мощности почв, их увлажнения и трофности.
2. Воздействие экзогенных деструктивных факторов генерирует множественность эколого-динамических линий посткатастрофической восстановительно-возрастной динамики биогеоценозов в пределах типов леса. Линии динамики длительное время различаются структурой всех ярусов лесных фитоценозов, в том числе интенсивностью естественного возобновления древесных растений, видовой структурой и продуктивностью травяно-кустарничкового яруса.
3. Системы взаимосвязанных дифференциальных логистических уравнений хорошо описывают восстановительно-возрастные смены фитоценозов после сплошных рубок и сопряженность динамики ярусов лесной растительности.
4. Применение теории катастроф для анализа и прогнозирования дигрессивно-демутационных смен лесной растительности дает хорошее соответствие теории и экспериментальных данных для различных типов леса, позволяет формализовать существование в пределах одного экотопа альтернативных линий сукцессионной динамики.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Результаты и выводы диссертации достоверны, так как основаны на многолетних исследованиях автора по теме диссертации, использовании общепризнанных подходов и современных методов статистической обработки данных, анализе большого числа литературных источников. Основные результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на международных и всероссийских конференциях: Международной научно-технической конференции «Современные проблемы устойчивого управления лесами, инвентаризации и мониторинга лесов» (Санкт-Петербург, 2006), Международной конференции «Математические модели и информационные технологии в сельскохозяйственной биологии: итоги и перспективы» (г. Санкт-Петербург, 2010), Международной научной конференции, посвященной 135-летию со дня рождения И.И. Спрыгина «Биоразнообразие: проблемы и перспективы сохранения» (Пенза, 2008), третьей

Всероссийской научной конференции «Принципы и способы сохранения биоразнообразия» (г. Пущино, 2008), Международной конференции «Ресурсный потенциал почв – основа продовольственной и экологической безопасности России» (г. Санкт-Петербург, 2011), Международной конференции «Любищевские чтения», (Ульяновск, 2013, 2015), Международном семинаре «Математические модели в теоретической экологии и земледелии (Полуэктовские чтения)» (Санкт-Петербург, 2014), Всероссийской научной конференции (с международным участием), посвященной 100-летию со дня рождения Б.П. Колесникова (г. Екатеринбург, 2009), Всероссийской конференции с участием иностранных ученых «Проблема и стратегия сохранения биоразнообразия растительного мира Северной Азии» (г. Новосибирск, 2009), Межрегиональной конференции «Ботанические исследования на Урале», посвященной памяти известного уральского ботаника П. Л. Горчаковского (г. Пермь, 2009), II, III, IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Биологические системы: устойчивость, принципы и механизмы функционирования» (Нижний Тагил, 2008, 2010, 2012), IV Всероссийской научной конференции с международным участием «Принципы и способы сохранения биоразнообразия» (г. Йошкар-Ола, 2010), Всероссийской конференции с международным участием «Проблемы эколого-экономической оценки природных объектов, экологическая безопасность территорий» (г. Екатеринбург, 2011), Всероссийской школе-конференции «Актуальные проблемы геоботаники» (г. Уфа, 2012), Всероссийской выставки-презентации учебно-методических изданий из серии «Золотой фонд отечественной науки» (Сочи, 2011), Национальной конференции с международным участием «Математическое моделирование в экологии» («ЭкоМатМод») (Пущино, 2009, 2011), Всероссийской конференции с международным участием «Состояние лесов и актуальные проблемы лесопользования» (Хабаровск, 2013), II Всероссийской научной Интернет-конференции с международным участием «Ботаника и природное многообразие растительного мира» (Казань, 2014), Международном семинаре «Математические модели в теоретической экологии и земледелии» («Полуэктовские чтения») (Санкт-Петербург, 2014). Международной конференции «XXIX Любищевские чтения. Современные проблемы эволюции и экологии» (Ульяновск, 2015), XIV Международной научно-практической конференции «Отечественная наука в эпоху изменений: постулаты прошлого и теории нового времени» (Екатеринбург, 2015). Международной конференции-совещании «Сохранение лесных генетических ресурсов» (Республика Беларусь, г. Гомель, 2017), Международной конференции «Bioresource and Stress Management» (Индия, Джайпур, 2017), V Всероссийской научно-практической конференции «Биологические системы: устойчивость, принципы и механизмы функционирования». (Нижний Тагил, 2017).

**Личный вклад автора.** Диссертационная работа выполнена в 1991-2018 гг. Постановка цели, задач, разработка программы исследований, организация и проведение полевых работ, сбор, статистический анализ данных, разработка моделей, их верификация, интерпретация полученных результатов проведены лично автором.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 112 работ, в том числе 1 монография, индексируемая в Scopus, 1 глава в коллективной монографии, индексируемой в WOS, 29 статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ.

**Структура и объем работы.** Диссертация изложена на 304 страницах и состоит из введения, 9 глав, заключения, 12 приложений и списка литературы. Содержит 86 рисунков и 40 таблиц, список литературы включает 784 источника, в том числе 295 на иностранных языках.

**Благодарности.** Безграничную благодарность выражаю своим первым научным руководителям д.б.н. С.Н. Санникову и к.с.-х.н. Е.М. Фильрозе за внимание и терпение, веру в мои силы, неоценимую помощь на первых этапах работы. Огромная благодарность к.с.-х.н. Г.В. Андрееву и к.б.н. Е.С. Золотовой за помощь в проведении полевых исследований, предоставлении данных и обсуждении результатов. Особая благодарность д.ф.-м.н. Г.П. Быструю за детальное консультирование, объяснение методов теории катастроф, предоставление программных продуктов, тщательную проверку всех расчетов, помощь в интерпретации результатов. Также благодарна к.т.н. Ю.П. Ланкину, к.ф.-м.н. И.А. Лыкову, С.А. Охотникову за предоставленные программные продукты, помощь в моделировании, д.б.н. Е.В. Колтунову за конструктивную критику и обсуждение результатов. Я благодарна д.б.н. С.А. Шавнину и д.б.н. И.В. Петровой за предоставление возможности и помощь в проведении исследований и всем сотрудникам, которые принимали участие в обсуждении результатов.

## Глава 1. Анализ изученности восстановительной динамики лесной растительности

Леса занимают около 52% поверхности суши (Boisvenue, Running, 2006), а бореальная область охватывает примерно 17% земной поверхности (Bonan, Cleve, 1992). Основные площади бореальных лесов сосредоточены на территории Российской Федерации (22,4%), США (8,0%) и Канады (6,4%) (таблица 1.1). Из них около двух третей территорий находится под разными формами хозяйственного использования, преобладает производство древесины. Хотя лесные экосистемы в той или иной степени адаптированы к природным воздействиям, прогнозируемые глобальные экологические изменения представляют значительную угрозу для их состояния (Gauthier et al., 2015).

Таблица 1.1 – Площадь бореальных лесов (Smith et al., 2001; FAO, 2002.)

Страны	Общая площадь бореальных лесов (10 <sup>6</sup> га)	Процент от общей площади лесов (%)
Россия	851,4	22,4
Канада	44,6	6,4
США	302,4	8,0
Финляндия	21,9	0,6
Швеция	27,1	0,7
Норвегия	8,8	0,2
Общая площадь лесов	3800	100

Изучению закономерностей динамики бореальных лесов под влиянием природных и антропогенных воздействий, поддержанию их стабильности и возобновляемости посвящены многочисленные изыскания ученых Западной Европы (Blankmeister, Hengst, 1971; Schmidt-Vogt, 1977, 1985; Leibundgut, 1982; Forster, 1988 b; Thomasius, 1988; Василевич, 1993) и Северной Америки (Franklin, Hemstrom, 1981; Spies, Franklin, 1989; Forster, 1988 a). Особенности сукцессий хвойных лесов после катастрофических воздействий исследованы достаточно подробно (Siren, 1955; Finegan, 1984; Leikola, 1990). Доказано, что леса, произрастающие во всех типах местообитаний и природных условиях, аperiodически повреждаются пожарами и штормовыми ветрами, которые приводят к возникновению ветровалов и буреломов. С возрастанием антропогенной нагрузки происходит сокращение площади темнохвойных лесов,

замена их на лиственные, обеднение видового состава, уменьшение стабильности и природозащитных функций (Манько, Гладкова, 1995; Schmidt-Vogt, 1977; Rehfuess, 1988).

В России исследование динамики хвойных лесов проводилось в нескольких направлениях. Среди самых распространенных можно отметить ботанико-географическое (Сукачев, 1928; Корчагин, 1954, 1956; Сочава, 1944; Колесников, 1956; Дыренков, 1976, 1984) и лесоводственно-таксационное (Воропанов, 1930, 1950; Богословский, 1940; Смолоногов, 1959, 1970; Валяев, 1961).

Представляют интерес исследования по общим проблемам сукцессий (Finegan, 1984; Миркин и др., 1989). Термин «сукцессия» для смен растительности впервые использовал Де Люк в 1806 году (Александрова, 1964). Существует довольно много классификаций сукцессий, которые опираются как на свойства самой растительности, так и факторы способствующие смене. Сукцессии могут быть обусловлены внутренними (автогенная сукцессия) и внешними (аллогенная сукцессия) факторами. Общепринято подразделение на природные и антропогенные сукцессии (по причинам возникновения); первичные и вторичные (по происхождению); обратимые и необратимые (по обратимости) (Александрова, 1964; Миркин, 1984, 1985). Распространено деление по тенденциям изменения продуктивности и биоразнообразия на прогрессивные и регрессивные сукцессии (Быков, 1978; Алехин, 1986; Whittaker, 1975). Более подробно с классификациями сукцессий можно ознакомиться у Б.А. Быкова (1978). Кроме перечисленных можно отметить ещё одну категорию сукцессий: демутационные или восстановительные, которые протекают после прекращения воздействия нарушающего фактора (Шенников, 1964). Восстановительные смены являются вариантом автогенных сукцессий: трансформация растительности протекает по причинам изменения плотности популяций и взаимодействия биоценоза и экотопа. Исследование восстановительно-возрастных смен признается важным аспектом познания динамики лесных сообществ.

С целью объяснения механизмов восстановительных смен выдвинуто три обобщенные модели (Миркин и др., 1989; Василевич, 1993):

1. Модель способствования, которая отражает классические взгляды на динамику (van Hulst, 1978; Turner, 1983). В этом случае смена фитоценозов обусловлена улучшением условий произрастания, которые связаны со средообразующей ролью растений и с их влиянием почвенное плодородие.

2. Модель нейтральности, которая видит причины динамики биогеоценозов в различии жизненных циклов растений и эколого-фитоценологических типов стратегий. В основе данная модель имеет индивидуалистическую концепцию (Gleason, 1917, 1926, 1939), хотя четко была сформулирована значительно позднее (Drury, Nisbet, 1973).

3. Модель торможения, согласно которой виды первых стадий сукцессий препятствуют



внедрению видов последующих стадий (Connell, Slatyer, 1977).

Разумеется, что приведенные модели упрощают реальную ситуацию. Кроме того эти три процесса могут проявляться одновременно (Василевич, 1993).

Литературные данные о сукцессионной динамике бореальных лесов свидетельствуют о следующих основных видах антропогенных сукцессий (Громцев и др., 2010; 2011; Нешатаев, 2017): постпирогенные, после лесозаготовок, в связи с осушением, в результате внесения удобрений, после лесокультурных мероприятий, пасторальные, рекреационные, техногенные, в результате гидромелиорации и других факторов, приводящих к изменению гидрологии, первичные сукцессии на техногенных ландшафтах. Среди природных причин, вызывающих сукцессии признаны климатические изменения (Maiti, Rodriguez, Ivanova, 2016). Пожары могут выступать как естественный, так и антропогенный фактор. Его роль в инициации сукцессионной динамики общепринята в литературе (Санников, 1992; Rodriguez-Vaca et al., 2016; Нешатаев, 2017).

В связи с тем, что климатические изменения, лесозаготовки и пожары являются основными факторами трансформации структуры и функций лесных экосистем изучение их влияния остается актуальным (Krawchuk et al., 2009; Maiti, Rodriguez, Ivanova, 2016). Перечисленные факторы являются взаимосвязанными: пожары, как изначально природный фактор, зависящий от климатической обстановки, многократно усиливается антропогенным воздействием; сокращение площади лесов в результате лесозаготовок и пожаров влияет на глобальные климатические смены; лесовосстановление на вырубках и гарях протекает на фоне изменения климата, который трансформирует восстановительно-возрастные смены и вызывает появление новых региональных и ландшафтных особенностей. В результате климатические смены, лесозаготовки и пожары становятся причиной глобальных эффектов (Maiti, Rodriguez, Ivanova, 2016; Zhang, 2018).

Лесные пожары представляют собой наиболее обширное естественное нарушение бореального биома, которое вызывает широкий спектр экологических последствий для растительности и почв, влияют на лесовосстановление и постпирогенные сукцессии (Санников, 1992; Горшков, 2001; Whitman et al., 2018). Поэтому лесные пожары в бореальной зоне признаны ключевым фактором динамики лесов, приводящим к огромным экономическим потерям (Rodriguez-Vaca et al., 2016). Для многих экосистем, пожар является доминирующим фактором, который контролирует видовой состав и восстановительные сукцессии, определяет структуру субклимаксовых лесов (Perry et al., 2011; Shenoy et al., 2011; Chambers et al., 2016) и пространственную неоднородность (Larson et al., 2012; Brown et al., 2014, 2015; Malone et al., 2018). Так, например, для России ежегодная площадь пожаров оценивалась в 4–20 млн. га (Shvidenko, Schepaschenko, 2013). Ряд исследователей установили, что в Канаде и Сибири

среднегодовое количество пожаров является одинаковым и колеблется в пределах 2%–2,5% от площади лесов (Gauthier et al., 2015).

Как прогнозы, так и наблюдения показывают, что с увеличением продолжительности вегетационного периода происходит возрастание количества пожаров и площади выгорания (Wang et al., 2015, 2017). Например, ряд исследователей (Flannigan et al., 2005; Goldammer et al., 2013; Ponomarev et al., 2016; Wotton et al., 2010, 2017) прогнозируют, что площадь чрезвычайной пожарной опасности в России и Канаде может значительно увеличиться. В связи с этим большое количество публикаций посвящено вопросам развития устойчивого лесопользования, защиты лесов от пожаров и лесовосстановлению (Gunn, 2007; Li et al., 2013; Kuuluvainen, 2016; Malone et al., 2018).

В литературе есть сведения, что участки бореальных лесов, пройденных пожаром, обычно возвращаются к исходной структуре в течение 100 лет (Bartels et al., 2016). Однако исследователи, использующие дистанционное зондирование для изучения постпирогенного возобновления растительности, обнаружили различные темпы восстановления растительного покрова в зависимости от интенсивности пожара. При сильной интенсивности наблюдалось наибольшее снижение видового разнообразия и продуктивности растений в первые годы, за этим периодом следовал бурный рост, который свидетельствовал либо о восстановлении лесов, либо о колонизации участков растениями и деревьями, вызывающими смены (Gibson et al., 2016; Whitman et al., 2018). Увеличение интенсивности пожара может приводить к длительным изменениям в составе и структуре подчиненных ярусов (Morgan et al., 2014; Chambers et al., 2016; Day et al., 2017). Виды, произрастающие на границе ареала, страдают от пожаров в большей степени (Whitman et al., 2018).

Многими исследователями отмечается, что интенсивность пожара коррелирует с положением в рельефе (Fourrier et al., 2015; Boiffin et al., 2015; Day et al., 2017), составом и структурой древостоя (Greene et al., 2005; Collins, Stephens, 2010; Lydersen et al., 2017). Также с этими факторами связаны и восстановительно-возрастные смены фитоценозов (Whitman et al., 2018).

Г. Сирен (Siren, 1955) в своей классической работе проанализировал динамику еловых лесов, распространенных в Северной Финляндии. Он рассмотрел период формирования двух поколений ели и выделил два основных этапа в развитии темнохвойного леса. На первом этапе формируются темнохвойно-лиственные древостои, ель достигает господства к 80-ти годам. В возрасте 240 лет преимущественно чистые древостои достигают максимального запаса. К 360 годам под влиянием ветров древостой распадается. Хотя ель не теряет господства, древостои формируются редкостойными. Их производительность ниже в полтора раза. В исследованиях Г. Сирена также отражены особенности трансформации почвенных условий и нижних ярусов

растительности: в ходе сукцессий происходит замена послепожарного ельника черничного на менее производительный ельник чернично-зеленомошный.

Для Сибири проведена большая работа Е.И. Пономаревым с коллегами (Ponomarev et al., 2016). Авторы анализировали действие климатических факторов на частоту пожаров и площадь выгорания. Анализ многолетних данных показал, что статистически достоверно увеличивается не только количество пожаров, но и их площадь. Площадь выгорания и количество пожаров наиболее тесно связаны с аномальными температурами воздуха июня и июля. Также в качестве значимого фактора авторы (Ponomarev et al., 2016) указывают на поступающую солнечную радиацию и статистически значимое снижение пожаров при продвижении с юга на север. Однако в условиях антропогенного воздействия, описанные выше закономерности, могут не выполняться (Kovacs et al., 2004).

Детально исследована динамика таксационных показателей, построены таблицы хода роста одновозрастных ельников (Синельщиков, 1959) и смешанных елово-лиственных фитоценозов (Курзин, 1958), сформированных после пожаров и сплошных рубок.

С.В. Алексеев (1948) для северной тайги формализовал развитие постпирогенного ельника зеленомошного в виде схемы, согласно которой ель начинает доминировать с восьмидесятилетнего возраста. Период распада господствующего поколения начинается с возраста 140 лет и длится долго. Этот этап характеризует снижением сомкнутости древостоя, что делает возможным активный рост молодых деревьев. К 300–320 годам основное поколение распадается, и на его месте появляется разновозрастный ельник.

На Урале изучением лесных пожаров занимались многие исследователи (Санников, 1992, 1997, 2014; Залесов, Луганский, 2002; Хасанова, 2014). Интересны исследования В.П.Фирсовой (1960). Она выявила динамику физико-химических свойств некоторых почв Урала под влиянием лесных пожаров. Прикладные аспекты по защите от лесных пожаров освещены в работах А.А. Кректунова (2016), А.В. Тукачевой и др. (2017). А.Н. Шихов, С.И. Перминов, Е.С.Киселева (2017) провели исследование лесных пожаров на Урале по многолетним рядам спутниковых наблюдений. Интервал наблюдений составил 2000-2014 годы. Ими установлено, что пожары являются главными деструктивными факторами для лесной растительности. Авторы проанализировали особенности территорий, где пожары возникали максимально часто и установили связь с антропогенными факторами. Также сделан вывод об изменчивости в различные годы, которая осложняет выявление закономерностей возникновения пожаров и требует дополнительных исследований. Среди наиболее значимых факторов, которые влияют на распространение лесных пожаров, исследователи отмечают: состав древостоя и годовое количество осадков (Krylov et al., 2014; Шихов и др., 2017). Эти исследования хорошо согласуются с данными, полученными для других регионов (Wotton et al.,

2010, 2017; Wang et al., 2015, 2017).

Крупномасштабное применение сплошных рубок вызвало необходимость изучения закономерностей восстановления лесной растительности на вырубках. Эта проблема является приоритетным направлением лесоведения во многих странах (Aiba et al., 2001; Chen et al., 2011; Нешатаев, 2017; Wu, et al., 2018; Downey et al., 2018).

Изучение восстановительно-возрастных смен лесной растительности после сплошных рубок позволило сформировать гипотезу о многообразии линий сукцессионной динамики фитоценозов в сходных условиях местопроизрастания (Смолоногов, 1960а; Aichinger, 1973; Маслаков, Колесников, 1968; Санников, 1970; Цветков, 1975, 1972, 1989; Любимов и др., 2017; Нешатаев, 2017; Keivan Behjou, Ghaffarzadeh Mollabashi, 2017; Canullo et al., 2017; Florez et al., 2018; Peter, Harrington, 2018; Vanaš et al., 2018). В литературе по лесному хозяйству вводятся термины: «тип развития», «направления лесовозобновления», «экологический ряд восстановления и развития насаждения», «эколого-динамический ряд», «категория вырубки», «вариант типа вырубки», «тип возобновления», «тип формирования насаждений» (Санников, 1970, 1992; Маслаков, 1972; Цветков, 1986, 1995 а,б, 2009). Доказывается, что в процессе восстановительной динамики часто наблюдается смена лесообразователя, которая может быть кратковременной, длительной и устойчивой. Такие смены в большинстве случаев являются нежелательными. Поэтому предпочтение отдается вариантам без смены пород, либо коротковосстановительным рядам динамики. В качестве основных факторов, определяющих тип формирования лесной растительности и увеличивающих вероятность смены эдификатора, указываются: количество, жизнеспособность подроста предварительных генераций, обеспеченность вырубке источниками обсеменения, структура травяно-кустарничкового покрова (Зубарева, 1961, 1970; Побединский, 1966; Данилик, 1968; Шевелев, 1965; Исаева, 1968 а, б; Маслаков, Колесников, 1968; Цветков, 1989; Зарубина, 2017; Thapa, Chapman, 2010; Lorimer et al., 2014; Дебков и др., 2015; Peter, Harrington, 2018). В зависимости от сочетания факторов В.Ф. Цветков (1989) многообразие рубок в каждом типе леса подразделяет на 5 хозяйственных групп (категорий): 1 – с сохранным подростом предварительных генераций; 2 – с редким подростом (без подроста), с развитым травянистым покровом, обеспеченные семенниками; 3 – с редким подростом (без подроста), с развитым травянистым покровом, не обеспеченные семенниками; 4 – паловые, обеспеченные семенниками; 5 – паловые, не обеспеченные семенниками. Для каждого типа леса на дренированных почвах Кольского полуострова им выделено и подробно проанализировано пять типов формирования насаждений (Цветков, 1989): 1 – из подроста предварительных генераций; 2 – при смешанном лесовозобновлении на вырубках с развитым напочвенным покровом, обеспеченных семенниками; 3 – при смешанном лесовозобновлении на вырубках с развитым напочвенным

покровом, не обеспеченных семенниками; 4 – при последующем возобновлении на паловых вырубках, обеспеченных семенниками; 5 – при последующем возобновлении на паловых вырубках, не обеспеченных семенниками. Данные типы формирования лесной растительности выделяются специфической динамикой лесовозобновления, тенденциями формирования древесного яруса, различными возрастными рядами трансформации структуры и строения древостоев и других ярусов лесных фитоценозов. Одноименные типы формирования насаждений в разных условиях местопроизрастания имеют сходство, что подтверждает важную роль антропогенных факторов при лесообразовании (Цветков, 1989; Ito et al., 2006; Ives, Carpenter, 2007; Olupot, 2009; Peter, Harrington, 2018). Кроме того было обращено внимание на сходство в развитии производных фитоценозов, которые произрастают в достаточно различных местообитаниях и являются производными от различных субкоренных хвойных лесов (Цветков, 1989).

С.Н. Санников (1992) описал подробную схему посткатастрофического разделения дигрессивно-демутационных рядов хвойных биогеоценозов в рамках одного коренного типа леса. Автором установлено, что в зависимости от вида и интенсивности деструктивного воздействия (пожар, ветровал, рубка), типа почвенного субстрата (ненарушенный, обожженный, механически «минерализированный»), наличия или отсутствия приноса семян и подроста хвойных предварительных генераций на открытых местообитаниях формируется многообразие растительных сообществ, представляющих собой спектр эколого-динамических рядов развития биогеоценозов.

Типологию вторичных фитоценозов в таежных лесах Коми детально исследовала С.В.Дёгтева (2002) и построила модели рядов восстановительной динамики, в пределах которых выявила изменения видового состава и структуры эдификатора и подчиненных ярусов.

В.Б. Козловский (1961) исследовал лесовосстановление после рубок в Северном Прикамье и подробно описал схему формирования еловых лесов. Лесовосстановление происходит через смену эдификатора. Через 150 лет формируется чистый разновозрастный темнохвойный древостой. Выпадение перестойной ели к 200 годам и рост молодых поколений ещё больше увеличивает разновозрастность.

При исследовании восстановительно-возрастной динамики лесной растительности основное внимание уделяется древостою. На Урале формирование лесных фитоценозов на вырубках и гарях детально исследовано Е.П. Смолоноговым (1959, 1960 б, 1970) и Е.П. Смолоноговым, А.М. Шиховым (1987). Также стоит упомянуть исследование З.И. Синельщиковой (1968), посвященное восстановлению ельников Западной Сибири. Исследования травяно-кустарничкового покрова выполнены главным образом на сплошных вырубках и гарях (Corpi et al., 2016). Эти первые этапы восстановительных смен хорошо

освящены в литературе (Мелехов, Голдобина, 1947; Мелехов, 1959, 1960 а, б; Типология вырубок..., 1974; Федорчук, Кузнецова, 1995; Перевозникова, 1998; Palviainen et al., 2005 и мн. др.). Проведенные исследования в различных лесорастительных условиях позволили выявить ряд закономерностей в формировании растительности на открытых местообитаниях (Федорчук, Кузнецова, 1995; Перевозникова, 1998). Заслуживают внимания исследования, посвященные особенностям видов растений, которые становятся доминантами на вырубках и гарях (Комарова, 1993). Отдельным актуальным направлением является изучение действия агрегатной техники на растительность в процессе заготовки древесины. Здесь можно отметить исследования, проведенные В.И. Обыденниковым (1980, 1989), В.И. Обыденниковым и А.В. Тибуковым (1996). Динамика структуры синузий фитоценозов открытых местообитаний изучена С.П. Каразия (1989), Т.А. Комаровой (1993) и мн. др. В результате исследования пространственной неоднородности фитоценозов был выдвинут тезис о том, что в процессе восстановительных смен происходит изменение доли той или иной синузии, а производные синузии, доминирующие на открытых местообитаниях, со временем замещаются на коренные. Литературных источников, посвященных изучению нижних ярусов на протяжении всего восстановления от вырубок (гарей) до субкоренных лесов можно найти лишь незначительное количество. Здесь следует упомянуть исследования Д.М. Мирина (1998).

А.А. Маслов (1998) провел анализ процессов динамики леса, который позволил выявить различия в темпах изменений эдификатора и подчиненных ярусов. Причем если динамика древостоя в литературе освещена достаточно хорошо, то подчиненные ярусы остаются мало изученными, в особенности это касается такого важного показателя как продуктивность. Данная проблема освещена лишь в отдельных литературных источниках, в которых продуктивность подпологовой растительности исследована на начальных и заключительных возрастных этапах формирования древостоя (Магасумова и др., 2016). Однако следует учитывать, что преобладающее большинство лесов можно охарактеризовать как динамичные серийные растительные сообщества. Следовательно, назрела необходимость смены методического подхода для изучения продуктивности лесов на такой, который позволит выявлять тенденции динамики и генерировать кратко- и долгосрочные прогнозы.

На данный момент выявлено существенное отличие по экологическим и биологическим признакам между видами, которые характерны для начальных стадий сукцессии (пионерные) и видами поздних стадий. На начальных этапах динамики преобладают одно- и двулетние растения. Они характеризуются следующими показателями: хорошая семенная продуктивность и способность к распространению семян на дальние расстояния; высокая скорость роста; светолюбие; низкая конкурентоспособность. Заключительные этапы и субклимаксальные леса отличает доминирование видов со следующими характеристиками: высокая продолжительность

жизни; более медленный рост; повышенная теневыносливость и конкурентоспособность (Harcombe, 1977; Newell, Tramer, 1978; Kellman, 1980; Finegan, 1984; Lorimer, et al., 2014).

Вырубки заселяют пионерные древесные виды обладающие r-стратегией возобновления: береза, осина, а в случае пожаров и сосна. У данных видов есть общие свойства: светолюбие и нетребовательность к почвам. Виды r-стратегии образуют, как правило, одновозрастные (условно-одновозрастные) древостои. Темнохвойные виды являются k-стратегиями, характеризующиеся конкурентоспособностью, теневыносливостью, более медленным ростом, хорошим возобновлением под пологом леса (Одум, 1973). Виды данной стратегии формируют разновозрастные древостои. Тем не менее, в ряде исследований убедительно показано, что диагностические виды типа леса в большинстве случаев сохраняются на протяжении всех стадий восстановительных сукцессий на вырубках (Федорчук и др., 2005).

Благодаря исследованиям процессов естественного возобновления видов-эдификаторов на открытых местообитаниях и под пологом леса возможно выявление особенностей динамики фитоценозов. С точки зрения популяционной экологии естественное возобновление древесных растений признается одним из главных, «программирующим» формирование леса процессом. Его результат отражает репродуктивный потенциал, степень адаптации и стабильности популяций, а также определяет структуру, функции и краткосрочную восстановительную динамику лесных экосистем биогеоценоза (Санников, 1992). Количество опубликованных работ по теме лесовозобновления достаточно большое. На данный момент существует достаточное количество публикаций по изучению вырубок и гарей (Санников, 1992).

Изучение лесовозобновления в Западной и Средней Европе проводили многие исследователи (Schmidt-Vogt, 1967, 1977; Blankmeister, Hengst, 1971; Thomasius, 1990). Это направление актуально также и для Скандинавии (Kuusela, 1990; Leikola, 1990).

В Европейской части России процессы естественного возобновления древесных растений под пологом леса и на открытых местностях исследованы максимально детально. Данная тема рассматривается в публикациях Г.Ф. Морозова (1920, 1928), И.С. Мелехова (1933, 1960б), А.А. Корчагина (1954, 1956), В.Г. Карпова (1965, 1969), А.В. Побединского (1966, 1975), А.В. Грязькина (1998) и многих других. Уральский регион охвачен исследованиями Р.П. Исаевой, Н.Л. Луганского (1974, 1981), которые посвящены зонально-географической дифференциации естественного лесовозобновления. Авторы отметили такие фитоценотические особенности как: возникновение проблем с естественным возобновлением в еловых лесах, в то время как в сосновых их зафиксировано меньше. Из географических особенностей установлено, что в подзонах средней и южной тайги создаются более благоприятные условия для появления и выживания всходов ели и пихты, чем в подзоне темнохвойно-широколиственных лесов (Исаева, Луганский, 1974). На сложные условия для естественных лесовосстановительных процессов для

темнохвойных растений в подзоне темнохвойно-широколиственных лесов указывала также Р.С. Зубарева (1970).

А.А. Шевелев (1965), Р.С. Зубарева (1970), Б.Ф. Окишева (1981) провели исследования подроста древесных растений под пологом леса на Урале и выявили, что в темнохвойных лесах, как правило, встречается разновозрастный подрост ели и пихты, который может сформировать древостой после рубки. Проблема лесовосстановления вырубок Урала отражена в исследованиях Д.С. Ивашина (1952), Е.И. Юргенсона (1958), С.Н. Санникова (1960, 1965), А.А. Шевелева (1965), Р.П. Исаевой (1968 а, б, 1975), Е.Л. Маслакова и Б.П. Колесникова (1968), Давыдычева с соавторами (2006, 2009). За последние годы были проведены исследования С.Н. Санниковым (2006), Г.В. Андреевым (2002), В.В. Фоминым и другими (2015), Е.В. Юровских (2016), Ю.П. Горичевым, А.Н. Давыдычевым, А.Ю. Кулагиным (2017). Авторы установили во многих случаях неудовлетворительное лесовосстановление на сплошных вырубках. Они выразили обеспокоенность тем фактом, что в ряде случаев рубки не возобновились не только хвойными, но и лиственными древесными растениями. Детальные количественные исследования А.П. Шиманюка (1931), А.А. Шевелева (1965), А.В. Побединского (1966), Р.П. Исаевой (1968), Б.П. Колесниковой (1970) показали, что наибольшее значение для успешности лесовозобновления на вырубках имеет подрост предварительных генераций, а пожары способствуют распространению сосновых лесов (Санников, 1992). К сходным выводам приходит и Р.П. Исаева (1975).

В.Н. Данилик (1968, 1970), А.А. Шевелев и А.С. Чиндяев (1970), С.А. Дырников (1975), Н.Н. Теринов (1978) и многие другие исследовали влияние технологии и сезона лесозаготовок на последующее зарастание вырубок. Выявлено, что успешность лесовосстановления во многом зависит от правильного выбора: для наиболее быстрого восстановления исходных хвойных лесов предпочтительнее использовать постепенные и выборочные рубки (Данилик, 1968, 1972). Также следует отметить исследования по искусственному лесовозобновлению, так как восстановление господства хвойных растений в древостое не всегда возможно естественным путем, а для сосны сибирской лесные культуры в большинстве случаев является единственно возможным вариантом для восстановления кедровых фитоценозов в условиях Среднего Урала (Терехов и др., 2017, 2018; Стеценко и др. 2019).

Все вышеперечисленные исследования являются основой для разработки концептуальных основ повышения продуктивности лесов и ведения лесного хозяйства на Урале (Луганский, Залесов, 1990, 2002; Лысов, 1990; Теринов, Куликов, 1991; Теринов и др., 2012, 2018; Новоселова и др., 2016; Герц и др., 2017; Теринов, Луганский, 2017). А также направлены на сохранение биоразнообразия растительности (Аткина, Булатова, 2010; Магасумова и др., 2016; Залесова и др., 2017).



Задачей большей части исследований было выявить факторы и условия наиболее быстрого лесовосстановления на вырубках, гарях и ветровальниках. Поэтому исследования заключались в оценке количества подроста и его способности сформировать древостой. Такие исследования проведены в разных регионах и типах леса. Результаты служат основой для планирования и проведения рубок и мер по содействию естественному возобновлению. Но при этом экотопические и ценотические особенности остаются мало изученными (Санников, 1992). Для различных природных зон и экотопов информация о лесовозобновлении достаточно противоречивая, а факторы, определяющие региональные и типологические особенности не выявлены. Следовательно, для сохранения биоресурсов планеты необходимы дальнейшие исследования и совершенствование методологических подходов.

Изменение климата признано наиболее актуальной проблемой современности, от решения которой зависит будущее человеческого существования (Global Biodiversity Outlook 2, 2006; Maiti, Rodriguez, Ivanova, 2016). Нестабильность климата ведет к повышению вероятности локальных и глобальных экологических кризисов. Частые жаркие периоды, неравномерные осадки и увеличение дефицита воды приводят к снижению стабильности лесного хозяйства (Battisti, Naylor, 2009; Maiti, Rodriguez, Kumari, 2016). По прогнозам, в течение следующего столетия темпы изменения климата превысят способность лесов естественным образом адаптироваться (Горшков и др., 1997; Soja et al., 2007, Iverson et al., 2008). Установленное отставание адаптации может привести к исчезновению видов, изменению структуры лесов, снижению продуктивности и видового разнообразия, а в конечном счете, падению устойчивости экосистем (Soja et al., 2007, Iverson et al., 2008). В настоящее время повсеместно отмечаются реакции лесных экосистем на глобальные климатические смены, в том числе потепление (Thomas et al., 2018), изменение количества осадков (Weltzin et al., 2003) и минерального питания (Galloway et al., 2008; Alam, 2010).

В настоящее время антропогенный фактор признается важным для последних изменений климата (Anderegg et al., 2010; Haunschild, Bornmann, Marx, 2016). Большинство исследователей считают, что прогрессирующее изменение климата способно существенно трансформировать продуктивность и видовой состав лесных экосистем (Kellomäki, 2016; Schaphoffa et al., 2016; Ochuodho, 2016; Murray et al. 2017).

Все экологические прогнозы последствий изменения климата, в конечном счете, основаны на моделях, имитирующих изменение климата на основе сценариев антропогенного воздействия (Casajus et al., 2016). Поэтому изучение влияния изменения климата на лесные экосистемы чрезвычайно важно. С этим связаны высокие темпы роста публикаций по проблемам климата. Общее количество публикаций стремительно увеличивается, удвоением происходит каждые пять – шесть лет (Grieneisen, Zhang, 2011; Haunschild, Bornmann, Marx, 2016). Исследования, связанные

с биомассой, являются основной областью, за которой следует моделирование климатических смен. Исследования, касающиеся адаптации, смягчения последствий, рискам, сравнительно невелики, но их доля экспоненциально растет, начиная с 2005 года. По проблеме адаптации растений и экосистем опубликована наибольшая доля важных работ (с точки зрения цитируемости) (Кулагин, 1984; Haunschild, Bornmann, Marx, 2016). В настоящее время научному сообществу необходимо решить важный вопрос, как рационально управлять изменением климата для производства древесины и биомассы. Исследования, посвященные этой проблеме, пока немногочисленны.

Сценарии изменения климата обычно используются с моделями распределения видов (SDM). Это необходимо для оценки сдвигов ареала, вызванных изменением климата (Lawler, 2013). Однако различные методы моделирования могут приводить к разным прогнозам распространения видов (Thuiller, 2004) и, возможно, к противоречивым интерпретациям. Для решения данной проблемы разрабатываются новые подходы. Деннис Л. Мюррей и его коллеги (Murray et al., 2017) используют крупномасштабные экологические модели для доказательства того, что вызванная климатом фрагментация ареала усиливает прямое воздействие климатических факторов на виды в бореальных лесах Северной Америки.

На Урале изучение климатических смен сосредоточено главным образом на верхней границе леса в горах Южного, Северного, Приполярного Урала и северной границе леса с тундрой (Шиятов, 1986; Фомин, 2009; Моисеев и др., 2010; Hagedorn et al., 2014; Григорьева, Моисеев, 2018). Эти экстремальные для древесных видов условия экотона являются отличным объектом для исследований климатических смен растительности, так как действие факторов выражено наиболее сильно и именно климат является лимитирующим для роста и распространения древесных растений. В этих условиях получен ряд интересных выводов. Так, например, изучение продуктивности древесных растений на Южном Урале показало, что при приближении к верхней границе леса процент массы стволов от общей фитомассы деревьев ели сибирской уменьшается почти в 2 раза (Моисеев и др., 2016), а изучение лиственницы сибирской на верхней границе распространения на Северном Урале выявило, что на формирование семян и выживание всходов действуют не только температура воздуха и влажность почвы, но и ветер, глубина снежного покрова (Григорьева, Моисеев, 2018). Следует отметить разработку нового оригинального метода повторных ландшафтных снимков, который дал множество интересных и наглядных результатов продвижения леса в тундру (Шиятов, 1983; Шиятов, Мазепа, 2015; Фомин и др., 2015). Проблеме динамики растительности на экотоне также посвящена работа красноярских авторов (Иванова, Суховольский, 2018).

С проблемой динамики лесных экосистем тесно связана проблема сохранения биоразнообразия на экосистемном, видовом, популяционном и др. уровнях организации,

(Lindenmayer et al., 2000; Павлов, Букварева, 2007; Самсонова и др., 2017). Исследования, посвященные биоразнообразию, становятся все более актуальными в связи с увеличением темпов трансформации природных экосистем (Baselga, 2010; Трофимова и др., 2015; Zobel, 2016; Groote et al., 2017) с одной стороны и признанием лесов важнейшими источниками наземного биоразнообразия (Liang et al., 2016) с другой. Масштабное сокращение природных экосистем неизбежно приведет к снижению их регуляторных мощностей и разрушению биоразнообразия планеты. В прошлом последствия антропогенного нарушения экосистем приводили лишь к локальному или региональному ущербу окружающей среде, однако в настоящее время глобальный масштаб этого процесса становится все более очевидным (Foley et al., 2005; Westgate et al., 2013). Проблема сохранения биоразнообразия в контексте климатических и антропогенных смен лесной растительности активно исследуется в различных странах и континентах (De Laender et al., 2016; Badalamenti et al., 2018). Основными методами анализа являются: DCA-, PCA-, RDA-ординации (Coppi et al., 2016; Groote et al., 2017), теория фракталов (Seidel, 2017), а также расчет и анализ индексов разнообразия и выравненности (Keivan Behjou, Ghaffarzadeh Mollabashi, 2017; Florez et al., 2018).

В литературе неоднократно отмечается, что трансформация естественного биоразнообразия тесно связана с видом и интенсивностью внешнего воздействия, и этот факт необходимо учитывать при лесопользовании и планировании лесовосстановительных мероприятий (Ives, Carpenter, 2007; Olupot, 2009; Thapa, Chapman, 2010; Peter, Harrington, 2018). Так, например, исследование влияния рубок различной интенсивности на севере Ирана показало, что для улучшения показателей биоразнообразия лесов интенсивность лесозаготовок должна ограничиваться средним уровнем (примерно 5 вырубленных деревьев на гектар) в ходе каждой лесозаготовительной операции (Keivan Behjou, Ghaffarzadeh Mollabashi, 2017). Приведенные результаты получены на основе анализа индексов разнообразия Симпсона и Шеннона, индексов выравненности Пиллу и Хилла. Интересное исследование провела группа авторов (Florez et al., 2018). Они рассмотрели изменения в разнообразии и динамике видов за 48 лет в субтропических, тропических лесах Австралии, подверженных интенсивным лесозаготовкам. Результаты многолетних исследований показали, что при отсутствии лесозаготовок и минимальных природных возмущениях разнообразие и динамика растений характеризовались как устойчивые в течение всех 48 лет. В районах, которые в наибольшей степени пострадали от рубок, была выявлена нестабильность биоразнообразия. Обнаружено, что нарушения, вызванные интенсивными лесозаготовками, стали основным фактором изменения разнообразия деревьев и стимулом многочисленных межвидовых взаимодействий и реакций на популяционном и экосистемном уровнях. За 48 лет выявились тенденции к восстановлению биоразнообразия, но полного возвращения к исходной структуре не наблюдалось.

Исследователи, изучающие различные разрушающие воздействия (заготовка древесины (Parrota et al., 2004; Buffa et al., 2018), пожары (Miller, Kauffman, 1998), выпас (Stern et al., 2002), различные виды землепользования (Newbold et al., 2015)) пришли к сходным выводам: чем сильнее воздействие и выше его частота, тем интенсивнее снижается биоразнообразие. Однако вид зависимости в большинстве случаев так и не был установлен. Указывается лишь причина: изменение экологических условий в результате уничтожения полога древостоя (Wu et al., 2018). Это привело к более детальному исследованию влияния древостоя на разнообразие подчиненных ярусов (Corpi et al., 2016).

В последние десятилетия увеличивается количество исследований, посвященных влиянию ландшафта на лесное биоразнообразие (Nadrowski et al., 2013; Buffa et al., 2018). Авторами предлагается проводить мониторинг на ландшафтной основе (Bitencourt et al., 2016). В данном контексте широко обсуждается проблема зависимости результатов оценки биоразнообразия от размера площади и получении резко отличающихся результатов на разных пространственных масштабах (Wiens, 1989; Battisti, Fanelli, 2015; Gigante et al., 2016).

Взаимосвязь между стабильностью сообществ и видовым разнообразием всегда была сложным теоретическим вопросом экологии. Большинство ученых придерживается гипотезы о том, что более высокое видовое разнообразие обеспечивает более высокую стабильность лесной экосистемы (Chen, Wang, 2008; Павлов, Букварева, 2007; Morin et al., 2014). Поэтому часто разнообразие растений в лесах принимается за меру структурной и функциональной сложности сообщества, которая характеризует и устойчивое функционирование экосистемы в меняющихся внешних условиях (Mitchell et al., 2002; Frelich et al., 2005; Павлов, Букварева, 2007). Однако до сих пор нет общепризнанных критериев для оценки величины биоразнообразия, что связано с многогранностью этого термина (Lindenmayer et al., 2000; Lindenmayer, Likens, 2011; Jayathunga et al., 2018).

С перечисленными выше направлениями исследований тесно связана проблема континуальности и дискретности растительного покрова. Точка зрения по данному вопросу, в свою очередь, определяет не только трактовку положения о естественности лесотипологических построений и классификаций растительности, но и понимание закономерностей структуры и динамики фитоценозов (Миркин, 1978; Миркин, Розенберг, 1978; Миркин и др., 1989, 2000; Tabacchi et al., 1990; Миркин, Наумова, 1998).

Концепция континуальности, как и дискретности, научно обоснованы. Континуум проявляется в том, что любые два произвольно выбранных участка имеют общие признаки. Концепция континуума основывается на двух главных тезисах (Александрова, 1969; Tabacchi et al., 1990): на экологической специфичности видов и на непрерывности изменений факторов среды.

В.С. Ипатов и Л.А. Кирикова (1985) выделяют и подробно анализируют следующие причины дискретности растительных сообществ: дифференцированность экотопов, присутствие критических точек в изменении лимитирующих экологических факторов, изменение среды обитания растениями, катастрофическое влияние на окружающую среду и растительность природных и антропогенных факторов.

Изменение природных условий антропогенными факторами считается основной причиной дискретности (Ипатов, 1971; Ипатов, Кирикова, 1985; Ипатов, Герасименко, 1992; Graae, Sunde, 2000). С эдификаторной ролью растений как причиной дискретности лесной растительности также согласны почти все исследователи независимо от их взглядов на непрерывность покрова (Котов, 1983; Ипатов, Кирикова, 1985; Норин, 1987а, б, 1991). Дискретность, вызванная ролью растений, может проявляться на экосистемном уровне либо приводить к синузидальным группировкам. Равномерно распределенный на больших площадях эдификатор оказывает влияние на лесорастительные условия и увеличивает их однородность. Чем сильнее выражены средообразующие функции у эдификатора, тем больше сходство подпологовой растительности даже в значительно различающихся местообитаниях. Это явление получило название дивергенции растительности (Долуханов, 1959, 1964).

Континуальность и дискретность проявляются не только в пространстве, но и во времени, а с развитием математических методов стало известно, что указанные свойства распространяются на все измеряемые признаки. Это находит отражение в требовании математических методов к непрерывности данных в одних случаях и к дискретности в других (Liang, Picard, 2013). Большинство исследователей согласны с тем, что растительный покров можно разделить на дискретные единицы (Василевич, 1975, 1991; Прейс, Самойлов, 1977; Qiu et al., 2016). На основе многочисленных исследований выявлено, что классификация фитоценозов возможна и целесообразна для положительного прогноза сходной реакции выбранных объектов на идентичные внешние воздействия (Классификация..., 1986; Qiu et al., 2016). Так, например, в основе лесопользования лежат типы леса, которые позволяют разрабатывать стратегии устойчивого развития (Смолоногов, 1968, 1994, 2001; Фильрозе и др., 1990).

Резюмируя можно отметить, что растительный покров обладает такими свойствами, как континуальность и дискретность, что является причиной возникновения взаимосвязанных проблем, в том числе установление границ и переходной зоны (экотона) (Ипатов, Кирикова, 1985; Шиятов, 1986; Классификация..., 1986). При этом экотон обладает своими особенностями структуры и динамикой растительности (Шиятов, 1983; Мартыненко и др., 2003, 2007; Миркин и др., 2010; Фомин и др., 2015; Моисеев и др., 2016).

Вышеперечисленное указывает на необходимость более строгого подхода к

геоботаническим и лесотипологическим исследованиям, а лесная типология становится актуальным научным направлением для разработки теоретического фундамента и методических разработок для классифицирования лесов во всех странах (Дыренков, 1989; Смолоногов, 2006). Основная задача названного направления состоит в создании теории организации экосистем на разных уровнях (локальном, региональном и глобальном) (Дыренков, 1989). Несмотря на важность типологии леса, классифицирование фитоценозов сопряжено со многими трудностями, и данная проблема вызывает множество дискуссий на протяжении уже более ста лет. Дискуссии направлены на отражение регионально-географической специфики природных комплексов в классификационных единицах (Смолоногов, 1996).

Основной классификационной единицей является тип леса. Данное понятие ввел Г.Ф. Морозов. Изначально тип леса имел объем лесного фитоценоза. В своей статье «О типах насаждений и их значение в лесоустройстве» Г.Ф. Морозов (1904) определил тип леса как «совокупность насаждений, объединенных в одну обширную группу общностью условий местопроизрастания или почвенно-грунтовых условий» (Морозов, 1931). С понятием «тип насаждения» связано понятие «тип произрастания». Г.Н. Высоцкий (1962) продолжил развитие учения о типах лесорастительных условий. Он исследовал проблему взаимного влияния леса и почв (Высоцкий, 1962). Также необходимо отметить работы А.А. Крюденера (2003), который внес значимый вклад в лесную типологию и предложил более широкую трактовку типа леса как совокупность факторов, влияющих на формирование леса. В числе главных факторов он называл климат, почвы, условия лесовозобновления и технологию лесопользования. Из вышеизложенного вытекает, что тип леса понимается как экосистема. Причем фундаментальным его признаком можно считать особенности лесовозобновления, которые в последующем стали одним из критериев для выделения типов леса на практике (Крюденер, 2003).

Г.Ф. Морозов делает упор на развитие положения о географизме леса и подчиненности лесного хозяйства «географическому началу», что хорошо отражено в статьях, написанных с 1914 по 1920 годы (Морозов, 1931). Краткая формулировка географического принципа содержится в известном афоризме «лес явление географическое, а лесоводство – промысел географический». В рамках данной парадигмы Г.Ф. Морозов осуществил попытку создать систему типологии леса, сопряженную с лесоводственным районированием России. В дальнейшем Г.Ф. Морозов исследует проблему смены пород и приходит к выводу о динамизме всех явлений, как в пространстве, так и во времени». Названные исследования послужили основой для обоснования понятия о лесе «как явлении историческом». Г.Ф. Морозов видит необходимость использовать все эти признаки в типологии лесов и закладывает основу для перехода от естественных классификаций к классификации генетической. Гораздо позднее

данный тезис был развит Б.А. Ивашкевичем (1933) и заложены основы географо-генетической типологии (Колесников, 1970).

Благодаря исследованиям Г.Ф. Морозова и А.А. Крюденера произошло формирование нескольких лесотипологических направлений:

1. Биоценологическое (фитоценологическое) направление. Данное направление связано с именем В.Н. Сукачева (Сукачев, 1928; Сукачев, Зонн, 1961) и сопряжено с исследованием таежных лесов;

2. Эколого-лесоводственное направление. Обязано своим происхождением Е.В. Алексееву, П.С. Погребняку и Д.В. Воробьеву (Погребняк, 1955). Формирование направления произошло в процессе изучения лесов южных лесостепных и степных районов СССР, где они встречаются в определенных местообитаниях, а регион подвержен антропогенному влиянию;

3. Генетическое (географо-генетическое) направление. Сформировалось к 1950 г. Его развитие происходило в процессе изучения сложных и динамичных кедровых лесов Дальнего Востока. Направление реализовалось благодаря исследованиям Б.А. Ивашкевича (1933) и Б.П. Колесникова (1956, 1974).

Вышеперечисленные направления лесной типологии характеризуют тип леса как системное явление и используются в современных исследованиях. Наблюдается развитие региональных модификаций, которые выявляют региональные особенности лесного покрова и учитывают конкретные задачи, а также различаются детальностью типологических схем (Смолоногов, 1990). По мере увеличения антропогенного влияния на природные комплексы и увеличения доли вторичных нестабильных по составу и структуре лесов во всех регионах стало не хватать классических подходов в лесной типологии. Становится необходимым учитывать факторы времени и динамизм леса в современных типологических построениях.

В связи с этим для горных лесов Урала наибольшую популярность приобрела генетическая типология. Ее происхождение связано с исследованиями Б.А. Ивашкевича, который заложил теоретические и практические основы для дальнейшего развития этого направления. Согласно классификации Б.А. Ивашкевича (1933) тип леса соединяет огромное количество типов древостоев, которые можно представить как звенья «длинной цепи превращений», объединенные общностью лесорастительных условий. В генетической типологии происходит расширение объема типа леса, а в его характеристику добавляются лесорастительные условия и закономерности развития. Теоретическое обоснование этому предложил Б.П. Колесников (1956) на примере исследования и типизации кедровых лесов Дальнего Востока. В результате им была создана стройная система классифицирования лесов с учетом его динамики во времени (Смолоногов, 1990). По Б.П. Колесникову (1958), «под генетической классификацией понимается такая классификация, в основу которой положены

закономерности процессов возникновения и развития леса и которая охватывает все стадии развития лесных насаждений и может служить целям прогноза их будущего состояния». Понятие тип леса выступает в качестве основной единицы в типологических схемах и объединяет биогеоценозы, находящиеся на различных стадиях восстановления или возрастного развития и образующие генетические возрастные ряды. Данные ряды отражают процесс формирования, развития и восстановления леса. Ключевыми классификационными признаками являются стабильные во времени показатели, такие как лесообразующая и сопутствующие ей древесные виды растений, рельеф и ход роста лесообразующей породы, который определяется по бонитету на стадии физической спелости (Колесников, 1956).

Генетическая типология для выделения типов леса опирается на стабильные во времени признаки лесорастительных условий и учитывает генезис фитоценозов, их связь с коренными лесами. Меньшее значение присваивается физиономическому облику и структуре биогеоценозов. Тип леса понимается как этап формирования и эволюции леса и обязательно имеет географическую привязку к лесорастительному и лесохозяйственному районированию региона. Таким образом, с типом леса неразрывно связан его географизм и историзм (Колесников и др., 1970). Разрабатываемые типологические схемы обязательно основываются на общих подходах, но учитывают местные особенности условий произрастания, поэтому в результате они являются региональными.

И.С. Мелехов (1933, 1959) на основе типологии Б.П. Колесникова и исследования структуры растительности вырубок и гарей, закономерностей формирования лесной растительности предложил оригинальную динамическую типологию, которая хорошо приспособлена для классифицирования вновь формирующихся фитоценозов на открытых местообитаниях. Динамический подход к типологии оформился на основе изучения северных территорий, где структура растительности достаточно простая, хорошо отражает условия местопроизрастания и может использоваться в качестве одного из основных критериев при классификации (Мелехов, 1960б). Исходя из принципов динамической типологии, один тип вырубки может наблюдаться в различных экотопах и быть производным от изначально различных типов леса (Мелехов, Голдобина, 1947; Мелехов, 1960а, 1976). Также тип вырубки в динамической типологии отличен по объему от лесной ассоциации (Уланова, 2006). С эколого-фитоценотическими и эколого-флористическими принципами классификации вырубок можно ознакомиться в публикациях Н.Г. Улановой (2006).

В генетической лесной типологии тип вырубки всегда «привязан» к коренному (условно-коренному) типу леса, даже если физиономически типы вырубок в различных лесорастительных условиях очень похожи, их различия видны в шифре типа леса, в который в обязательном порядке входят условия местопроизрастания (Колесников и др., 1973). Следует



отметить, что при распространении динамической типологии на другие районы она стала все больше иметь сходство с генетической классификацией (Крышень, 2005; Абдурахманова и др., 2015). Это связано с тем, что преобладающие на вырубках растения характеризуются широкой экологической амплитудой и поэтому не всегда однозначно маркируют условия экотопа (Крышень, 2005). На основе детальных количественных исследований было показано, что физиономическое сходство лесных фитоценозов не всегда свидетельствует о сходстве экотопов (Нешатаев, 2017). Так, например, как показано В.Ю. Нешатаевым (2017) ельники черничники имеют широкую экологическую амплитуду, но восстановительные смены протекают по-разному в зависимости от лесорастительных условий, а сходство выявляется только для субкоренных лесов. Кроме того в богатых лесорастительных условиях формируется чрезвычайно сложный и мозаичный растительный покров, при классифицировании которого возникает необходимость использования более строгой системы диагностических признаков. Современное развитие динамической типологии отражено в публикациях В.И. Обыденникова и Н.И. Кожухова (2000), В.И. Обыденникова и А.В. Тибукова (1996, 2012), которые исследовали лесоводственно-географические аспекты вырубков. Большой вклад в развитие динамической типологии внесли В.Н. Федорчук, В.Ю. Нешатаев, А.А. Шорохов, Е.В. Шорохова, М.Л. Кузнецова (Федорчук и др., 2005, 2014), П.А. Феклистов, Т.В. Тюрикова, М.В. Аверина (2016). В конкретизацию типологии открытых местообитаний внесли вклад Н.Г. Уланова (2006), В.Н. Федорчук, М.Л.Кузнецова (1993, 1995). Разработки авторов основаны на детальных многолетних исследованиях сукцессий фитоценозов на вырубках и ветровальниках. Вырубки, гари и ветровальники представляют собой наиболее изменчивые экосистемы. Это делает их исключительными объектами для апробации лесотипологических построений (Федорчук, Кузнецова, 1995; Крышень, Гнатюк, 2005; Нешатаев, 2017). Так, например, А.М. Крышень (2005, 2006) исследовал формирование растительности на вырубках по архивным данным и собственным наблюдениям и предложил современную их классификацию, которая по принципам составления очень близка к генетической типологии. В классификации А.М. Крышени учитывается, что тип вырубки, также как и коренной тип леса, имеет определенный ареал, который должен быть отражен в схемах типов, также указывается связь с экотопом и коренным типом леса и вырубаемым древостоем. Вводится существенное дополнение о том, что на месте одного коренного типа леса может возникнуть несколько различных типов вырубков, растительность которых не остается постоянной во времени, а развивается в зависимости от разрушающего воздействия и условий местопроизрастания (Крышень, 2006).

Современная генетическая типология получила дальнейшее развитие благодаря исследованиям Е.П. Смолоногова (1998, 2001), Е.М. Фильрозе (1986, 1997), А.М. Невидомова (1993), В.А. Розенберга (1990) и многих других. Интересными являются исследования С.А.

Дыренкова (1984,1989), который широко использовал методы статистического анализа данных в целях типизации лесов. Кроме того, можно отметить исследования С.Ф. Курнаева (1980), составившего детальное лесорастительное районирование для областей Нечерноземного центра, А.Я. Орлова с коллегами (1991), которые описали и проанализировали особенности свыше двадцати групп типов южно таежных областей, Л.П. Рысина (1982), который разработал стройную систему критериев для классификации экотопов и типов леса, Л.П. Рысина и Л.И. Савельевой (2002, 2007, 2008), которые много сил отдали созданию кадастра темнохвойных и светлохвойных лесов. Интересной является монография Е.И. Кузьменко и Е.П. Смолоногова (2000), посвященная тайге Южной Сибири с детальным анализом типов леса. Изучению стадий сукцессий посвящены исследования В.С. Ипатова и его коллег (Ипатов, Кирикова, 1985; Ипатов, 1990; Ипатов, Герасименко, 1992). Данные исследования имеют теоретическое значение для понимания категории климаксовых и субклимаксовых лесов. Производные леса как объект лесной типологии исследовали С.В. Дегтева (2002), Н.Г. Уланова (2006), Нешатаев (2017) и другие. Для Урала можно отметить исследования Н.А. Луганского, Л.А. Лысова (1991), посвященные типологии березовых лесов.

Анализ исследований по лесной типологии был бы неполным без упоминания о таком молодом научном направлении как ландшафтная экология, которая исследует взаимодействия растительности и ландшафта (Громцев и др., 2010, 2011). Данное научное направление во многом пересекается с генетической типологией.

В лесоведении с середины 1950-х и 1960-х годов стали активно обсуждаться следующие вопросы (Shugart et al., 2018):

1. Как скорректировать таблицы хода роста для учета изменений в росте генетически улучшенных быстрорастущих деревьев?
2. Как разработать таблицы хода роста для лесов, по которым нет эмпирических экспериментальных данных? Проблема возникла при попытке определить соответствующие плотности и ожидаемые графики роста для антропогенно измененных лесов, включая искусственные многовидовые леса.
3. Как получить таблицу хода роста для интродуцированных видов деревьев?
4. Если вносить удобрения для улучшения роста деревьев, как можно адаптировать таблицы хода роста к таким ситуациям?
5. Как планировать лесное хозяйство в условиях неопределенности и учесть и спрогнозировать риски?

Эти вопросы стимулировали развитие математического моделирования динамики лесов. В настоящее время общепризнанным является то, что моделирование – надежный инструмент для теоретического изучения отдельных деревьев, их популяций и экосистем. Модели

позволяют прогнозировать кризисные ситуации в жизни деревьев и леса, выявлять направление и темпы сукцессий (Jiang et al., 1999; Risch et al., 2005; Гуц, Володченкова, 2012).

Лесные фитоценозы обладают выраженной структурой взаимосвязей (Чернавский, 1990; Романовский и др., 2004; Коротаев и др., 2005; Чернавский и др., 2006), а теория инерциальных многообразий доказывает существование ограниченного числа факторов, которые определяют структуру и динамику исследуемых объектов (Foias, Sell, Temam, 1988; С.П. Капица и др., 1997). Авторы выявили возможность использование простых (базовых) моделей с малым количеством переменных и управляющих параметров для описания сложных экосистем (Капица и др., 1997). Данный тип моделей хорошо подходит для исследования лесной динамики в сравнении со сложными моделями, которые хотя и содержат большое количество переменных, но из-за их сложности оказываются мало пригодными (Чернавский, 1990; Капица и др., 1997). Базовые модели будут удовлетворительно описывать динамику лесной экосистемы, если удастся правильно выделить главные факторы (Чернавский, 1990; Капица и др., 1997; Романовский, 2004).

Для описания роста отдельных деревьев и древостоев строятся модели роста леса (Bartelink, 2000; Neeff, Santos, 2005; Meenet al., 2012). Примеры таких моделей можно найти у Д.Д. Мунро (Munro, 1974). Логистические модели Ферхюльста относятся к этой же группе. Их достаточно широко используют (Исаев и др., 2005, 2008).

Практически значимыми являются модели, позволяющие определить фитомассу и продуктивность деревьев и древостоев на основе физиологически обусловленных закономерностей (Усольцев, 1985, 1998). Разработанные в настоящее время модели имеют высокую точность и активно используются (Усольцев и др., 2016, 2017, 2018; Jucker et al., 2017; Usoltsev et al., 2018).

В настоящее время большую популярность приобретают индивидуально-ориентированные модели динамики леса (Laubhann et al., 2009; Омелько, Ухваткина, 2012; Shugart et al., 2015; Armstrong et al., 2018; Shugart et al., 2018). Поисковые запросы находят более 700 статей, связанных с моделированием различных лесов на основе данных моделей, опубликованных до 2000 года (Porté, Bartelink, 2002). Данный тип моделей основывается на концепции о мозаичности структуры леса. Предполагается, что отдельные мозаики развиваются относительно независимо друг от друга и проходят определенные стадии развития. Устойчивое состояние леса можно объяснить сложной пространственной структурой. Автором такого типа моделей является Д.В. Боткин (Botkin et al., 1972). Они получили название JABOWA и хорошо зарекомендовали себя. В употребление был введен термин «gap-модель» (Shugart, West, 1980). Название подчеркнуло принципиальное упрощение в этих моделях (предположение о том, что конкуренция между отдельными деревьями на небольшом участке земли однородна в

пространстве на небольшой площади, но хорошо выражена в вертикальном измерении). Данный тезис основан на предположении, что небольшой участок, близкий к размеру зоны влияния большого дерева, является подходящим масштабом для исследования появления окон и восстановления растительности в них. На практике площадь участков, используемых в этих моделях, составляет от 0,04 до 0,10 га в зависимости от размеров и высоты деревьев.

В основе гар-моделей лежат простые правила взаимодействия (например, затенение, конкуренция за ограниченные ресурсы и т. д.) в сочетании с правилами появления новых поколений, роста, усыхания, возникновения окон при вывале крупного дерева или их групп (Botkin et al., 1972; Shugart, West, 1980; Canham, 1989; Kern et al., 2013; Armstrong et al., 2018). Однако для формулирования таких правил необходима подробная информация о динамике отдельных видов деревьев (темпах роста, требованиях к условиям произрастания и таксационных характеристиках). Интересной реализацией моделирования оконной динамики может служить модель, разработанная Т.В. Дойлом (Doyle, 1982). Он реализовал гар-модель с 34 различными видами и протестировал ее на способность воспроизводить кривые разнообразия и изобилия видов в ответ на ураганные возмущения в горных дождевых лесах. Т.С. О'Брайен с коллегами (O'Brien et al., 1992) изучили изменения этих кривых разнообразия в теоретическом спектре возмущений, используя трехмерную версию модели Дойла.

В настоящее время существует множество вариантов моделей, развивающих JABOWA (Shugart et al., 2018). Так, например, был рассмотрен большой набор гар-моделей и проведено их тестирование для лесов, произрастающих в различных лесорастительных условиях, исследованы различные временные периоды динамики и пространственные масштабы (Shugart, Woodward, 2011). Представлен обзор моделей сукцессий лесов, которые имитируют долгосрочное динамическое изменение в разновозрастных и многовидовых лесах, и составлены таблицы значимых функций (Lagocque et al., 2015). В литературе постоянно обсуждается целесообразность включения большего числа деталей физиологии (вместо использования относительно простых параметризаций) в гар-модели, и делается вывод о том, что исследователи часто не располагают необходимой базой данных для реализации таких подходов. Следовательно, важно найти компромисс между использованием упрощенных параметризаций и расширением гар-моделей физиологическими функциями и параметрами, которые трудно оценить (Connell, 1989; Bugmann et al., 1996; Bugmann, 2001).

Достаточно популярной в настоящее время является модель FORMIND (Fischer et al., 2016; Armstrong et al., 2018), которая имеет высокий уровень точности прогнозирования биомассы даже для сложных многовидовых тропических лесов (Fischer et al., 2015, 2016). Данная модель широко применяется для моделирования оконной мозаики в лесах различных континентов. FORMIND была разработана в конце 1990-х годов для более реалистичного

моделирования динамики тропических лесов (Köhler, Huth, 1998, 2004). В FORMIND физиологические процессы, такие как фотосинтез и дыхание, моделируются на уровне дерева (процессная модель). Леса, площадью в несколько сотен гектаров, могут быть смоделированы за период в несколько столетий. Моделирование складывается из блока моделей для участков размером 20×20 м. Именно такой размер площади выбран для описания оконной динамики. Моделируемые участки могут взаимодействовать через рассеивание семян и вывал больших деревьев. Базовая модель состоит из четырех основных процессов: рост, усыхание, появление новых генераций подростов древесных растений и конкуренция между деревьями. FORMIND дает возможность включать в анализ несколько сотен различных видов, моделировать влияние природных и антропогенных нарушений на структуру и динамику лесов, оценивать и прогнозировать углеродный баланс лесов (Fischer et al., 2016). Рост биомассы деревьев определяется физиологическим балансом углерода, который включает в себя расходы на фотосинтез, поддержание существования и рост. Увеличение биомассы деревьев приводит к увеличению высоты, диаметра объема и ствола, площади листа. Для этого использованы аллометрические соотношения. В FORMIND количество сухостоя рассчитывается, как правило, стохастически от среднегодового уровня усыхания деревьев. Кроме того, модель позволяет рассчитать усыхание в зависимости от размера дерева или диаметра ствола. Также учитывается конкуренция за пространство. Перегущенные древостои прореживаются, т. е. увеличивается отпад, если кроны деревьев перекрываются. Если большие деревья усыхают, то у них есть определенная вероятность упасть на соседние участки, в которых их кроны повреждают более мелкие деревья и создают провалы в пологе. Таким образом, деревья могут погибнуть по различным причинам (возраст, темпы роста, конкуренция). Новые поколения появляются из семян, которые могут происходить либо из окружающего леса, либо из материнских деревьев в пределах одного лесного массива. Поскольку не всегда имеются благоприятные условия для прорастания семян, они накапливаются в почве на участке (формируется банк семян) в течение определенного времени до тех пор, пока условия не станут подходящими для прорастания. В ожидании лучших условий часть семян погибает (гибель семян). Как только условия изменяются (например, в результате создания окна в пологе), семена прорастают (Fischer et al., 2016).

Для бореальных лесов Российской Федерации широко используется система моделей EFIMOD, которая хорошо описана в литературе и имеет множество отличных примеров применения (Komarov et al., 2003; Комаров, 2009). С помощью неё возможно описание и прогнозирование круговорота элементов минерального питания растений, таксационных показателей и, что особенно важно, продуктивности экосистем и отдельных деревьев. В рамках EFIMOD разработаны модели динамики органического вещества почв (ROMUL),

статистический генератор почвенного климата (SCLISS), оценки биологического разнообразия (BioCalc) (Комаров и др., 2007). В основе моделей лежат балансовый и популяционный подходы, с их помощью можно дать как краткосрочные прогнозы, так и долгосрочные, а размер рассматриваемого участка варьирует от одного дерева до десятков и сотен гектаров. Первые работы с использованием EFIMOD были посвящены бореальным лесам, а впоследствии стали использоваться и для хвойно-широколиственных лесов (Комаров и др., 2007). Модели апробированы для изучения устойчивости лесов (Шанин и др., 2015), оценке конкуренции в древостоях (Шанин и др., 2013), особенностей производных лиственных лесов (Комаров и др., 2015) и экологических ниш растений во время лесных сукцессий (Комаров, Зубкова, 2012). Моделирование динамики лесов после пожаров также показало хорошие результаты (Кубасова и др., 2005; Чертов и др., 2012). Имеется ряд примеров успешного использования EFIMOD зарубежными исследователями (Shaw et al., 2006; Shanin et al., 2014; Khanina et al., 2014; Larocque et al., 2016; Lehtonen et al., 2016; Chertov et al., 2017).

Исследование зависимостей лесотаксационных данных от рельефа в настоящее время актуально и число публикаций по данной теме непрерывно увеличивается (Guisan, Zimmermann, 2000; Miller et al., 2007; Назимова и др., 2005; Бабой, 2008; Суховольский и др., 2014). Прогнозное моделирование растительности (PVM), т.е. прогнозирование распределения растительности в ландшафте на основе взаимосвязи между растительностью и факторами окружающей среды, требует огромного количества разноплановой информации и в том числе цифровых карт (Miller et al., 2007; Liang, 2012; Dufлот et al., 2018; Şentürk et al., 2019). Часто модели этого типа разрабатываются с использованием традиционных статистических методов. Климатические и эдафические факторы, определяющие дифференциацию растительности, такие как осадки, температура и высота зависят от рельефа местности. Авторегрессионные модели могут в большей степени описывать мелкомасштабную пространственную зависимость, возникающую в результате воздействия локальных биотических факторов, например, таких как конкуренция. Геостатистические методы могут быть более пригодны для моделирования крупномасштабной пространственной зависимости. Другие методы сосредоточены на глобальной и локальной оценке параметров при наличии пространственно структурированных или нестационарных данных (Vivian-Smith, 1997; Miller et al., 2007).

Появление новых мощных статистических методов и инструментов ГИС стимулировало разработку новых прогнозных моделей в лесоведении, которые связывают географическое распределение видов или сообществ с условиями местопроизрастания (Wintle et al., 2005; Weimin et al., 2009; Исмаилова и др., 2011). В результате к настоящему времени разработан широкий спектр моделей, охватывающих такие разнообразные аспекты как биогеография, охрана природы, исследования в области изменения климата и управление средой обитания или

видами, значительно увеличилось разнообразие используемых статистических методов (Guisan, Zimmermann, 2000; Hope, 2003; Hong, He., 2008). Обычная множественная регрессия остается популярной и в настоящее время. Другие методы включают нейронные сети, методы ординации и классификации, байесовские модели. Разработанные модели хорошо подходят для отражения теоретических выводов о характере реакции вида (или реализованной ниши). Концептуальные соображения включают, например, компромисс между оптимизацией точности и оптимизацией общности. Появились и методы, которые разработаны для проверки точности прогнозных моделей (Guisan, Zimmermann, 2000). Выбор меры оценки определяется главным образом целями исследования. Тестирование модели в широком диапазоне ситуаций (пространства и времени) позволяет определить область применения. Большое значение имеет удобство в использовании пользователем (Runkle, 1989; Mladenoff, 2004; Schlicht, Iwasa, 2004; Lischke et al., 2006, 2007).

Отдельного рассмотрения заслуживают матричные модели, которые активно развиваются и широко используются для количественного прогнозирования формирования лесной растительности (Ulanova, Zavlishin, Logofet, 2007, 2013; Любимов и др., 2017; Pyu et al., 2017, 2018). Применение матричных моделей для прогнозирования динамики популяций и экосистем представляется естественным, однако потребовались десятилетия, чтобы достичь концептуальной обоснованности, достоверных прогнозов и широкого использования в лесном хозяйстве (Liang, Picard, 2013). При первых попытках применения матриц переходов в лесном хозяйстве использовались модели с фиксированными параметрами. В последующих матричных моделях этот недостаток был устранен (Huenneke, Marks, 1987; Orois, Soalleiro, 2002; Tucker, Anand, 2003; Rollin et al., 2005).

За время своего существования матричные модели применялись, практически, во всех областях лесного хозяйства. В лесной экологии они использовались в первую очередь для изучения сукцессий (Manders, 1987; Alvarez-Buylla, Slatkin, 1993; Liang et al., 2005a), в том числе на фоне изменения климата (Liang et al., 2011) и с акцентом на изучение биоразнообразия (Liang, Zhou, 2010). В области лесоведения матричные модели нашли применение для прогнозирования экологических последствий различных режимов лесопользования (Zhou et al., 2008a). В последнее время были разработаны матричные модели для крупномасштабного картирования ресурсов древесины и биомассы с учетом постоянного климата (Liang 2012) и для сценариев с меняющимся климатом (Liang, Picard, 2013). Примерами прогнозирования динамики лесов России на основе матричных моделей может служить ряд исследований (Logofet, Lesnaya, 2000; Логофет, 2010).

Матричные модели, преимущественно, основаны на четырех предположениях: свойство Маркова, свойство Ашера, стационарность и геопространственная независимость (Liang, Picard,

2013). Матричные модели являются результатом агрегирования на популяционном уровне отдельных траекторий. Скорости переходов основываются на Марковской цепи. Большинство существующих матричных моделей разрабатываются на основе Марковского предположения первого порядка: временная эволюция индивида между  $t$  и  $t+1$  зависит только от его состояния в момент  $t$  и не зависит от предшествующих ему состояний. Данное предположение широко обсуждалось в контексте восстановительной динамики растительности (Korotkov et al., 2001; Korotkov, 2017), и были предложены формальные тесты в моделях (Johnson et al., 1991). Матричные модели второго порядка могут быть определены таким образом, что текущие скорости перехода зависят как от текущего состояния индивида, так и от его предыдущего перехода (Picard et al., 2003). Марковская модель первого порядка, хотя и не точная, является разумным приближением для прогнозирования динамики древостоя. Согласно предположению Ашера, между  $t$  и  $t+1$  дерево (растение) может либо остаться в том же классе, либо перейти к следующему классу, либо усохнуть, но не может двигаться вверх более чем на один класс или двигаться назад. Предположение Ашера гарантирует, что матрица перехода имеет нулевые записи везде кроме диагональных и субдиагональных. В более общем случае, когда возможен любой переход между двумя классами, число параметров для оценки существенно возрастает (Lefkovitch, 1965).

Большинство существующих матричных моделей предполагают постоянные условия окружающей среды, т. е. отсутствуют природные нарушения, такие как лесные пожары, землетрясения, ураганы и болезни, а климатические условия остаются постоянными. Поэтому с признанием нестабильности условий данное предположение становится непрактичным, особенно для долгосрочных прогнозов. Для решения этой проблемы в настоящее время разработаны и включены в Марковские модели специальные дополнительные методы (Fieberg, Ellner, 2001; Caswell, 2010). Однако данное усовершенствование требует большого количества данных. Для решения проблемы изменения климатических условий были разработаны чувствительные к климатическим факторам матричные модели, включающие такие переменные как температура и осадки (Liang, Picard, 2013).

Преимущественно существующие матричные модели предполагают, что данные независимы от географических местоположений и свободны от пространственной автокорреляции. Однако исследования показали, что геопространственная автокорреляция является общим свойством большинства экосистем (Legendre, Legendre, 1983, 1998; Legendre, 1993). Поэтому данная проблема стала ключевым вопросом (особенно в крупномасштабных матричных моделях) (Liang, Picard, 2013). В настоящее время разработан ряд моделей, учитывающих пространственные автокорреляции (Garnier, Lecomte 2006). С их помощью можно решать и другие проблемы, в том числе, такие как миграция видов, что очень важно для



изучения лесовосстановления на сплошных вырубках и гарях, заброшенных сельскохозяйственных угодьях, где видовой состав и восстановительная динамика во многом зависят от прилегающих фитоценозов.

Ранние матричные модели основывались на предположении, что временная динамика отдельного дерева не зависит от других деревьев. Однако деревья конкурируют за ресурсы, поэтому их рост зависит от окружения. Для преодоления этого ограничения разработаны матричные модели, зависящие от плотности древостоя (Zhao et al., 2005). В настоящее время они широко используются. Такие модели являются нелинейными и теоретически могут демонстрировать все виды динамического поведения, в том числе равновесия, циклов, и хаос (Zetlaoui et al., 2008). Однако реалистичные значения параметров чаще всего (если не всегда) приводят к равновесию в стационарном состоянии (Favrichon, 1998). Зависимость от плотности в основном моделируется с помощью классических дистанционно-независимых индексов конкуренции (Biging, Dobbertin, 1992). В матричных моделях для учета конкуренции эти индексы определяют вероятность перехода. Хорошей реализацией матричной модели для анализа роста лесов является работа, выполненная для северо-востока Кореи (Choi, An, 2016). Авторы получили отличное соответствие эмпирическим данным (численность, диаметры и др. таксационные характеристики) как долгосрочных, так и краткосрочных теоретических результатов моделирования. Разумеется, модель упрощает реальность, но результаты данного исследования доказывают, что матричные модели достаточно достоверны, чтобы предсказать среднее состояние лесов изучаемого региона.

В настоящее время доказано, что все рассмотренные выше подходы к моделированию, в некоторой степени, эквивалентны (Liang, Picard, 2013). Поэтому выбор модели должен основываться на целях моделирования так, чтобы количество предположений (неопределенностей) было наименьшим. Например, когда прогнозируемая популяция имеет мало особей, демографические случайные колебания, вероятно, будут играть важную роль в ее динамике, тогда предпочтительны модели, способные проецировать отдельные траектории, такие как индивидуальные модели. Когда прогнозируемая популяция имеет много особей, индивидуальные траектории не имеют смысла, и моделирование распределения размеров на уровне популяции является основным вопросом. В этом случае матричные модели гораздо полезнее.

Индивидуально-ориентированные модели обладают тем преимуществом, что имитируют реальность интуитивно понятным способом (Grimm, Railsback, 2005). Кроме того данные модели имеют преимущество для учета пространственного расположения индивидов. Таким образом, они могут легко и интуитивно интегрировать пространственную неоднородность (Liang, Picard, 2013). Однако индивидуально-ориентированные модели требуют обработки

гораздо большего объема информации, чем матричные (Van Nes, Scheffer, 2005). В результате для крупномасштабных исследований, понимание поведения индивидуальной модели становится невозможным, и даже интенсивное моделирование не может принести понимание всех возможных результатов (Liang, Picard, 2013). В этом случае явные преимущества получают матричные модели. Кроме того, они проще с вычислительной и аналитической точки зрения. Поскольку большинство исследований лесных экосистем сосредоточено на их динамике, а не на росте отдельного дерева, индивидуальные модели в большинстве приложений оцениваются и проверяются на популяционном уровне, как и матричные. Когда два подхода делают прогнозы одинакового качества, бритва Оккама предпочитает матричные модели (Sable, Rose, 2008).

Одной из главных проблем в лесном хозяйстве является учет риска стихийных бедствий и катастроф (Siry et al., 2005; Isaev et al., 2011; Chai et al., 2016). При использовании обсуждаемых выше подходов возникает высокий уровень сложности моделирования, который делает задачу получения достоверных прогнозов практически невыполнимой (Rodriguez-Baca et al., 2016). Хотя в разработке методов учета рисков и неопределенностей достигнут некоторый прогресс (Бузыкин и др., 2008; Исмаилова, Назимова, 2008; Hildebrandt, Knoke, 2011; Brunette et al., 2018; Radl et al., 2018), применение анализа рисков в лесном хозяйстве остается редким явлением и требует дальнейшей разработки новых подходов и методов (Yousefpour et al., 2012; Rodriguez-Baca et al., 2016).

Надежной основой для исследования и прогнозирования влияния внешних экзогенных стрессовых факторов является математическая теория катастроф. В лесоведении она может применяться для описания резких трансформаций структуры фитоценозов, а также сукцессионных смен. Теория катастроф может объяснить, например, как значимые эффекты могут возникнуть под действием небольших изменений экзогенных условий (Zeeman, 1976; Jones, 1977; Wright, 1983; Rietkerk et al., 1996).

Теория катастроф основывается на фундаментальных исследованиях Леонарда Эйлера по теории устойчивости. Данная дисциплина изучает закономерности динамики систем под действием экзогенных факторов. Исследования Эйлера были преимущественно сконцентрированы на теории устойчивости механических систем. Теория катастроф, как раздел математики, начала формироваться еще в середине XX века, благодаря исследованиям математикам Р. Тома (Thom, Zeeman, 1975) и В.И. Арнольду (Arnold, 1992). Данная теория направлена на изучение общих принципов, которые проявляются в разных ситуациях, и помогает лучше понять механизм действия природных факторов. Определение используемого термина «катастрофа» может быть сформулировано следующим образом: это скачкообразное изменение, возникающее в виде внезапного ответа системы на плавное изменение внешних

условий (Arnold, 1992). Неоспоримое значение теории катастроф в том, что она сводит огромное многообразие ситуаций к малому числу стандартных схем, которые можно детально анализировать.

Теория катастроф не может предотвратить резкое ухудшение обстановки или обеспечить быстрый выход из кризисной ситуации. Однако она позволяет глубже вникнуть в суть явлений и процессов, понять механизмы наблюдаемых изменений. С точки зрения математики катастрофой является резкая перестройка системы, скачкообразное изменение ее состояния. В преддверии кризисных ситуаций с целью стабилизации обстановки актуальным является разработка стратегий управления. Поэтому теория катастроф стала популярной в 70-х годах и была предложена в качестве основного метода для моделирования в различных областях. Однако модели были только качественными. Они описывали обобщенные ситуации и оказались малополезными при решении конкретных практических задач. Переход на количественный уровень был сложным, что вызвало большую критику математической теории катастроф (Deakin, 1978; 1980; Гилмор, 1984; Loehle, 1989; Rosser, 2007; Grasman et al., 2009) и исследования на ее основе практически прекратились. Тем не менее, несмотря на трудности, стохастические формулировки теории катастроф были найдены и разработаны статистические методы, которые позволяют количественное сравнение моделей катастроф с эмпирическими данными (Быстрой, Пивоваров, 1989; Grasman et al., 2009). Однако отсутствие программного обеспечения в свободном доступе и нехватка специально подготовленных специалистов тормозили применение теории катастроф для анализа и прогнозирования состояния древесных растений и экосистем. В последнее время ситуация изменилась в лучшую сторону. Грассман с коллегами (Grasman et al., 2009) предложили пакет дополнений для вычислительной среды R, который реализует метод Кооба (Cobb et al., 1983), и расширяет его в ряде направлений (Wagenmakers et al., 2005).

Примерами успешного применения теории катастроф в экологии леса могут служить модели смены леса степью (Арманд, Кушнарева, 1989; Ведюшкин, 1992; Scheffer, Carpenter, 2003). Исследователи провели детальный анализ критических состояний растительности и описание в терминах теории катастроф. Верхнее крыло сборки интерпретируются как лесные экосистемы, нижнее крыло соответствует степи. Экотон между лесом и степью проанализирован как петля гистерезиса. Основным направлением поиска стали предельные (критические) значения внешних и внутренних факторов. В исследованиях М.А. Ведюшкина (1992), Л.А. Володченко, А.К. Гуц (2009) было проведено использование теории катастроф для моделирования лесных фитоценозов. Большая часть публикаций относится к решению проблемы качественного прогнозирования изменений на экотоне, который представляет собой некоторую переходную полосу между двумя различными типами экосистем (Ведюшкин, 1992;

Шиятов, 1985; А.Д. Арманд, Кушнарера, 1989; Shiyatov, 1995; Mazepa, 2005; Усольцев и др., 2007), а также анализу критических условий и предельных значений факторов (Арманд, Кушнарера, 1989; Усольцев, 2003).

Интересным является исследование смен древесных видов в бореальных и тропических лесах (Frellich, Reich, 1999). Модель описывает как резкие смены состояний, так и сукцессионную динамику. Заслуживают внимания работы А.С. Исаева, В.Г. Суховольского, Т.М. Овчинниковой и др. (Исаев и др., 2009, 2012; Isaev et al., 2014), посвященные описанию восстановительно-возрастных смен в лесах с помощью фазовых переходов второго рода. Авторами используется функция риска трансформации лесного фитоценоза, находящегося на той или иной стадии восстановительно-возрастной динамики. В устойчивом состоянии данная функция принимает минимальные значения. Смены растительности возможны при наличии нескольких минимумов функции риска, а момент перехода определяется пороговыми значениями действующих факторов.

Интересным примером применения теории катастроф для описания сукцессий в лесах служит прогнозная модель мозаичного леса (Гуц, Хлызов, 2011; Гуц, Володченкова, 2012). Модель основана на четырех контролирующих внешних факторах. Проанализированы: влажность почвы, мозаичность, наличие конкуренции и антропогенные нарушения лесных экосистем (вырубка, пожары). В основе модели лежит катастрофа «звезда», которая описывает семь состояний равновесия одновременно. Однако стабильными могут быть только четыре (Гуц, Хлызов, 2011; Гуц, Володченкова, 2012). Данная модель также используется для описания сукцессии после лесозаготовок и пожаров, взаимосвязи между растительностью и почвами, деградации березовых лесов под влиянием избыточного увлажнения (Володченкова, Калининко, 2009; Володченкова, Гуц, 2011; Гуц, Володченкова, 2012). В работе, посвященной прогнозированию состояний фитоценозов в условиях засухи, также использована катастрофа «звезда» (Володченкова, Гуц, 2010). Лес моделируется как четырехъярусная экосистема, а модель служит для прогнозирования пожарной опасности. Авторы построили потенциальные функции, минимумы которых указывают на устойчивые состояния лесного сообщества. Для случаев, когда выявляется несколько локальных минимумов, рассмотрены правила для смены состояния (перехода точки (участка леса) к новому минимуму потенциальной функции).

### **Выводы:**

1. Исследование восстановительно-возрастных смен лесных фитоценозов в литературе освещено достаточно хорошо. Однако, несмотря на признание важности всех компонентов лесных фитоценозов для устойчивого функционирования экосистем, изучался преимущественно древостой. Особенности динамики подчиненных ярусов фитоценозов в

ходе лесных сукцессий исследованы до сих пор недостаточно, а изучение их динамики в связи с возрастными сменами эдификатора практически не проводилось.

2. Изучение восстановительно-возрастных смен лесных фитоценозов, происходящих под влиянием таких глобальных форм антропогенного воздействия на леса, как сплошные рубки и пожары, остается актуальным направлением лесоведения и экологии леса.

3. Математическое моделирование широко применяется для анализа и прогнозирования состояний, роста и формирования древесных растений и экосистем. Существует множество подходов к моделированию и прогнозированию. Недостатком многих из них является требование большого количества данных о структуре объекта моделирования и о внешних условиях, в связи с чем, имеет место неопределенность и риск получения неточных и ложных результатов, что требует дальнейшего совершенствования подходов и методов для количественного прогнозирования динамики лесов. Одним из интересных и перспективных подходов является теория катастроф. Она позволяет анализировать и прогнозировать кризисные ситуации в росте древесных растений и развитии лесных экосистем. Однако теории катастроф уделялось мало внимания. Модели были преимущественно качественными. Разработанные в последнее время статистические методы, которые позволяют проводить количественное сравнение моделей с эмпирическими данными, открывают новые резервы для использования теории катастроф для описания, анализа и прогнозирования динамики лесных экосистем.

## Глава 2. Объекты и методы исследований

### 2.1. Район исследований

Исследования проведены в западных низкогорьях Южного Урала и Зауральской холмисто-предгорной провинции Среднего Урала. На Южном Урале исследования выполнены в Челябинской области. Объекты относятся к Юрюзанско-Верхнейской провинции горных южно-таежных и смешанных лесов (Колесников, 1969). Абсолютные Высоты 400-800 м над ур. м. Исследования проведены между  $54^{\circ} 33' - 54^{\circ} 40' N$ ;  $57^{\circ} 48' - 57^{\circ} 55' E$ . Наиболее близким населенным пунктом является поселок Лемеза, который находится в 30 км от города Катав-Ивановска.

Зауральская холмисто-предгорная провинция Свердловской области представляет собой расчлененное предгорье. В данном районе наблюдаются высоты 200-500 м над ур. м. Исследования проводились между  $57^{\circ}00' - 57^{\circ}05' N$  и  $60^{\circ}15' - 60^{\circ}25' E$  и расположены между озерами Исетское и Таватуй. Данная территория характеризуется гетерогенностью ландшафтов и растительных сообществ и является водосбором для реки Исеть, которая снабжает водой столицу Урала (г. Екатеринбург). Здесь сохранилось природное разнообразие лесов и широко представлены различные производные фитоценозы, которые отражают разнообразие рядов сукцессий.

Таким образом, в обоих районах гетерогенные в типологическом плане горные леса, сильно фрагментированы рубками и пожарами. Природная гетерогенность лесной растительности многократно увеличена антропогенными сменами. В итоге сформировался невероятно сложный мозаичный растительный покров, идеальный для целей наших исследований. Здесь можно встретить все разнообразие фитоценозов: условно-коренные леса, производные березовые и осиновые фитоценозы различного состава, густоты и возраста, в изобилии представлены вырубки с различным количеством подроста древесных растений. На Среднем Урале также широко распространены гари.

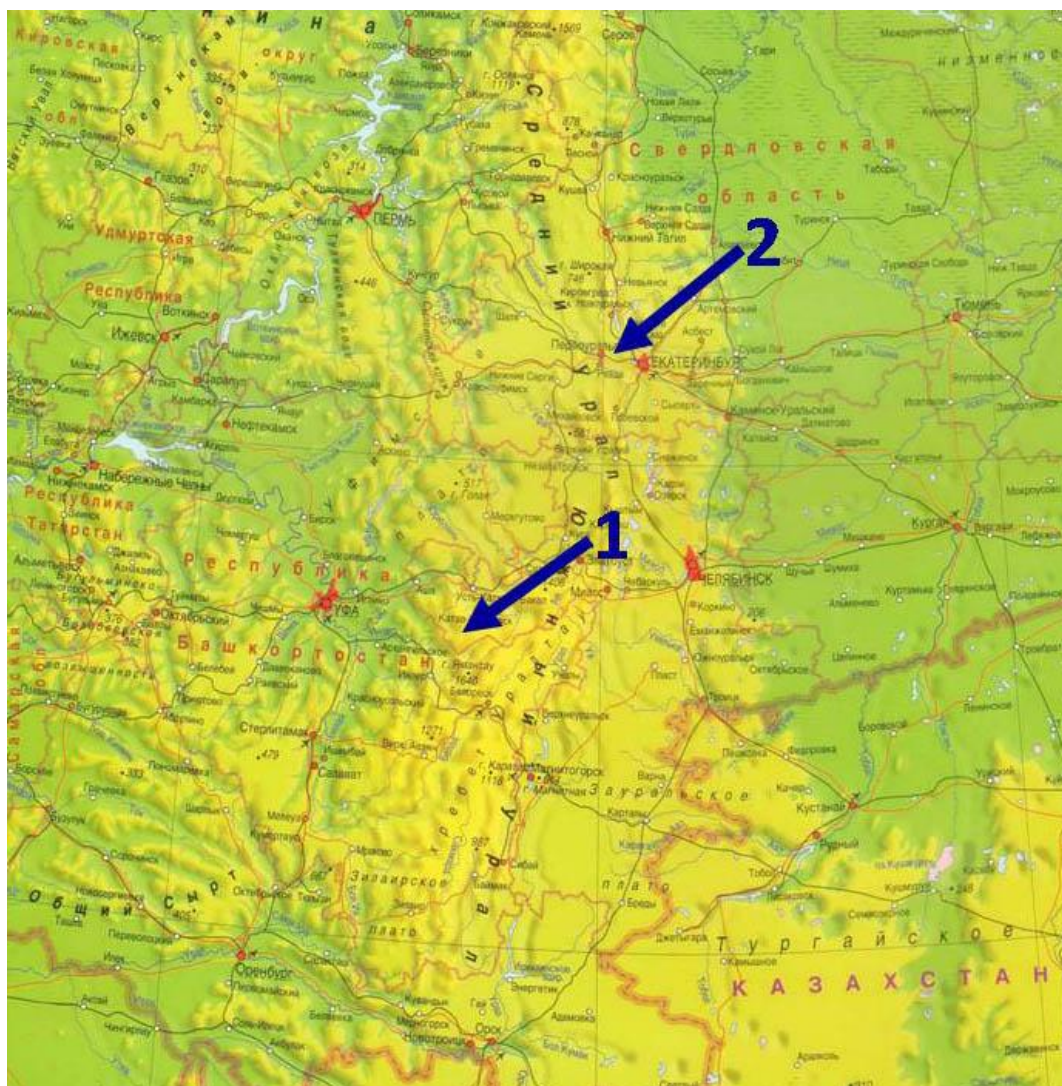


Рисунок 2.1. Район исследований: 1 – Западные низкогорья Южного Урала: Юрюзанско-Верхнейская провинция горных южно-таежных и смешанных лесов (Колесников, 1969); 2 – Средний Урал, Южно-таежный округ Зауральской холмисто-предгорной провинции (Колесников, Зубарева, Смолоногов, 1973)

## 2.2. Объекты исследований

Объектами изучения после тщательного рекогносцировочного обследования лесов были избраны условно-коренные (темнохвойные и светлохвойные) леса и производные фитоценозы (коротко-, длительно- и устойчиво-производные), отражающие сукцессии после рубок и пожаров.

Для выбора пробных площадей были изучены таксационные описания и определен тип леса. При закладке пробных площадей (0,25-0,5 га) придерживались границ одного выдела. Исследованиями охвачены дренированные и переувлажненные участки, изучены основные режимы увлажнения (от крайне неустойчивого до устойчиво переувлажненного).

На Южном Урале для исследования подчиненных ярусов пробные площади заложены преимущественно в нижнем высотном поясе – аналоге равнинных южно-таежных лесов (400-500 м над ур. м.): всего 27 пробных площадей: 11 – в условно-коренных ельниках, 16 – в производных березняках и осинниках. Отдельными исследованиями охвачен средний высотный пояс – аналог равнинных широколиственно-хвойных лесов (500-700 м над ур. м.). Изучено 7 пробных площадей: 3 – в условно-коренных ельниках, 4 – в производных лесах. В Верхнем высотном поясе, аналоге равнинных средне-таежных лесов (800-900 м над ур. м.) заложена 1 пробная площадь в условно-коренном ельнике. Всего изучено 35 участков (по 4 секции на каждой пробной площади). Исследованы основные типы леса: ельник альпийскогорцовый, ельник крупнопоротниковый, ельник неморальный, ельник мелкотравно-зеленомошный, ельник хвощево-мшистый, березняк осоково-сфагновый.

На Среднем Урале изучено 11 условно-коренных типов леса: сосняки брусничниковый, ягодниковый, ягодниково-липняковый, орляковый, травяно-липняковый, разнотравный, с темнохвойным ярусом мшисто-черничниковый, сфагново-хвощовый, ельник-сосняк зеленомошниково-ягодниковый, ельник травяно-зеленомошниковый, ельник-кедровник хвощево-мшистый. Всего 253 участка, включая вторичные леса, вырубки и гари.

Для анализа полученных результатов использован методический прием: группировка пробных площадей в ряды динамики, а внутри них объекты расположены согласно возрасту древостоя (Санников, 1970; Цветков, 1989; Фильрозе и др., 1999, 2000; Ипатов, 1990). В настоящее время данный подход широко применяется в выводах.

Перечень выделенных рядов динамики включает:

### 1. Условно-коренные типы леса

Первобытные, климаксовые леса со структурой соответствующей природным условиям практически исчезли. Их отдельные островки находят только в труднодоступных районах Севера.



Наиболее близкие к коренным леса относят к категории условно-коренных (Колесников и др., 1973). Они сохранили основные черты коренных типов леса и по многим показателям аналогичны им. Из этой категории изучены 140-250-летние темнохвойные и светлохвойные леса, которые в наименьшей степени изменены внешними воздействиями и структура которых близка к исходной.

## 2. Послерубочные и постпирогенные ельники, пихтарники и сосняки

К этой категории отнесены и изучены фитоценозы возрастом до ста лет и, представляющие развивающиеся экосистемы с не устоявшейся структурой и взаимосвязями. Для данных лесов характерны ярко выраженные восстановительные смены, перестройка структуры древесного и подчиненного ярусов.

## 3. Коротко-производные фитоценозы

Характеризуются участием в древостое хвойного лесобразователя и обильным его подростом под пологом леса. Восстановление доминирования хвойных древесных видов обеспечивается за период существования одного поколения. Нами изучены коротко-производные березняки и осинники различного возраста (от пяти до ста и более лет). В древостое преобладают березы (пушистая и повислая), присутствует ель сибирская, пихта сибирская, имеется обильный жизнеспособный подрост темнохвойных видов.

## 4. Длительно-производные фитоценозы

Данный тип фитоценозов характеризуется незначительным участием в древостое и подросте хвойных древесных растений, восстановление доминирования которых происходит за период превышающий время жизни одного поколения временно-преобладающего древесного вида. Нами изучены березняки различного возраста (от 5 до 100 и более лет), сформированные из березы последующей рубке генерации и сохраненного во время рубки мелкого подрост хвойных видов.

## 5. Устойчиво-производные фитоценозы

Древостой представлен лиственными древесными растениями. Восстановление коренного типа леса затруднено по причине отсутствия, как подроста, так и обсеменителей. Поэтому лесные типологии выделяют их в самостоятельные типы леса (Колесников и др., 1973; Фильрозе, 1958, 1967, 1983, 1986) и они требуют особых условий ведения лесного хозяйства.

Вырубки и гари рассматриваются в качестве начальных стадий лесовосстановительного процесса от момента рубки (пожара) до смыкания крон молодого поколения древесных

растений и включаются в соответствующие коренные типы леса (Колесников и др., 1973; Фильрозе, 1967, 1986).

## **2.3. Методологические подходы и методы полевых исследований**

### **2.3.1. Методологические подходы**

Методической основой выбраны генетическая типология (Колесников, 1956), метод пробных площадей и общепринятые методики лесогеоботанических и почвенных исследований (Сукачев, Зонн, 1961; Побединский, 1966; Александрова, 1969; Маслаков, 1980; Анучин, 1982; Методы изучения..., 2002). Для описания, анализа и прогнозирования состояния лесных экосистем и моделирования динамики использованы системы зависимых дифференциальных логистических уравнений (Lotka, 1925; Базыкин, 1985) и математическая теория катастроф Рене Тома (Thom, Zeeman, 1975) (в частности, катастрофа сборки).

### **2.3.2. Методы изучения восстановительно-возрастной динамики лесной растительности**

Изучение динамики лесных экосистем является одним из приоритетных направлений лесоведения и создает основу для количественного прогнозирования смен фитоценозов (Юрцев, 1988). При составлении программы и методики планируемых исследований учтены имеющиеся разработки, обобщенные в обзорах (Александрова, 1964; Миркин, 1984; Mueller-Dombois, Elenberg, 1974; Mueller-Dombois, 1988). Использовано совмещение двух методов: установления временных связей на основе изучения пространственных рядов сообществ (Александрова, 1964) и многолетние наблюдения на постоянных объектах. Данные методы принципиально отличаются. Их различия, положительные и отрицательные стороны подробно охарактеризовала В.Д. Александрова (1964). Неоспоримое преимущество первого метода – возможность в течение одного года исследовать сукцессии лесов на основе подобранных участков различного возраста, которые соответствуют дискретным стадиям восстановления фитоценоза после катастрофических воздействий, относятся к одному и тому же динамическому ряду и отражают ход демутационных смен.

При изучении восстановительно-возрастной динамики с помощью метода пространственных рядов сообществ выполнено несколько этапов:

#### **1. Рекогносцировочный.**

Данный этап включает маршрутное обследование территории, формирование гипотез о разнообразии динамических рядов фитоценозов и стадий восстановительных смен. Наибольшую трудность на данном этапе вызвал поиск близких к коренным хвойным лесам, что объясняется практически полным их уничтожением как на Южном, так и на Среднем Урале.

2. Проверка и уточнение предварительно выделенных рядов динамики.

Для этого привлечены сведения по истории возникновения фитоценозов.

3. Проведение детальных исследований на ключевых участках. Пробная площадь включала не менее 200 древесных растений.

### 2.3.3. Методы изучения древостоя

Выполнена таксация по общепризнанным методикам (Фильрозе, Богданов, 1977; Анучин, 1982) (рисунок 2.2). Для выявления истории формирования и возраста древостоя брали керны (по возможности, отбор кернов проводился ближе к основанию для наиболее точного определения возраста и получения объективной информации о динамике и истории древостоя). В большинстве случаев высота, на которой производился отбор кернов, составляла для деревьев второго и третьего ярусов пять – пятнадцать сантиметров, для деревьев первого яруса – 20-30 см (Яковлев, 1975). Для Южного Урала древесный ярус изучен Г.В. Андреевым (1997, 2002, 2004, 2005, 2006).

Для получения сведений о фитомассе древесных растений использован расчетный метод. Масса стволов рассчитана по формуле:  $M_{ст} = gfh\rho_{др}$ , где  $g$  - площадь сечения ствола на высоте груди (в молодняках - на половине высоты дерева);  $f$  - видовое число: для сосны  $f = 0.449 + (1.065/h)$ , для березы  $f = 0.397 + (1.029/h)$  (Изюмский, 1972);  $h$  - высота дерева;  $\rho_{др}$  - плотность древесины.

Масса кроны рассчитана на основе регрессионных уравнений, учитывающих физиологически обусловленные закономерности (пайп-модель). Для основных лесообразующих видов Урала уравнения получены В.А. Усольцевым (1997):

1) для сосны:

$$\ln M_x = -4,846 + 2,1407 \ln D_{1,3}$$

$$\ln M_{ск} = -5,2325 + 2,5419 \ln D_{1,3}$$

2) для березы:

$$\ln M_{л} = -4,3637 + 1,8911 \ln D_{1,3}$$

$$\ln M_{ск} = -4,4304 + 2,4645 \ln D_{1,3}$$

Для молодняков используется диаметр у основания кроны (Док):

1) для сосны:

$$\ln M_x = -3,8561 + 2,1660 \ln D_{ок}$$

$$\ln M_{ск} = -3,9830 + 2,5356 \ln D_{ок}$$

2) для березы:

$$\ln M_{л} = -4,0912 + 2,0650 \ln D_{ок}$$

$$\ln M_{ск} = -4,0592 + 2,6826 \ln D_{ок}$$

где  $M_x$ ,  $M_{л}$  – масса хвои и листьев в абсолютно-сухом состоянии (кг) соответственно;  $M_{ск}$  – масса скелета кроны в абсолютно-сухом состоянии (кг),  $D_{1,3}$  – диаметр дерева (см) на высоте 1,3 м,  $D_{ок}$  – диаметр у основания кроны.

#### **2.3.4. Методы изучения подроста древесных растений**

Подрост учитывали на 40 площадках размером 5x5 м (для лесов Южного Урала) и на 2-6 лентах 4x20 м, разбитых на площадки 2x2 м (для лесов Среднего Урала). Определены высота, возраст, диаметры, жизненное состояние (рисунок 2.3). Подрост характеризовался как жизнеспособный, нежизнеспособный и мертвый. Возраст определен для каждого экземпляра: для мелкого подроста (высота до 50 см) по мутовкам, для более крупного – по мутовкам и для уточнения правильности определения по спилам у корневой шейки для выборки растений (3-4 экземпляра для каждой категории жизненности и двадцати пяти сантиметров высоты).

#### **2.3.5. Методы изучения травяно-кустарничкового яруса**

Исследование травяно-кустарничкового яруса включало выявление видового состава, обилия по шкале Браун-Бланке, проективного покрытия и фитомассы (Раменский, 1971; Westhoff, Maarel, 1978).

Шкала Браун-Бланке включает следующие обозначения: г – встречаемость незначительная с проективным покрытием не превышающем одного процента; знаком «+» отмечаются виды, имеющие проективное покрытие от одного до двух процентов; балл «1» присваивается при покрытии три – четыре процента; балл «2» означает, что численность большая, а покрытие составляет от пяти до двадцати пяти процентов; балл «3» присваивается при любой численности, если проективное покрытие более 25, но менее 50 процентов; балл «4» – проективное покрытие

варьирует от 50 до 75 процентов; балл «5» для растений подчиненных ярусов в лесах присваивается редко только, если покрытие вида свыше 75 процентов (Миркин и др., 1989). Названия видов даны по определителю «Сосудистые растения СССР» (Черепанов, 1995).

Важным этапом исследования лесных фитоценозов является выявление вертикальной и горизонтальной структуры (Программа..., 1974). Для характеристики вертикальной структуры исследованы: древостой, подрост и подлесок, травяно-кустарничковый, моховой ярусы. Если ярус неоднородный, то выделялись подъярусы, измерялась их средняя и максимальная высота, сомкнутость крон для древостоя или проективное покрытие для подчиненных ярусов, выявлялись доминанты.



Рисунок 2.2 – Получение таксационных характеристик древесного яруса

Пространственная гетерогенность лесных фитоценозов, которая является следствием мозаичной структуры древостоя, подразумевает выделение парцелл и их исследование (Дылис, 1969). При изучении парцелл фиксировалось: участие в структуре лесного участка (глазомерно), характер границ (резкие, размытые), происхождение (коренные, производные). Для каждой парцеллы изучено проективное покрытие и высота ярусов и подъярусов, всех видов высших

растений, альфа разнообразие, фитомасса видов растений травяно-кустарничкового яруса. Для обозначения парцелл использовали доминантные виды. Для определения парцелл также опирались на индикаторные виды, которые свидетельствуют о свойствах экотопа или сукцессионном статусе. Опираясь на исследования М. Muller-Dombois и Н. Ellenberg (1974) нами были выделены и исследованы экотопические и сукцессионные индикаторы. Индикаторы лесорастительных условий позволяют сделать вывод о влиянии факторов среды обитания. Сукцессионные индикаторы были выявлены на основе анализа постоянства видов растений на различных стадиях восстановительно-возрастных смен лесной растительности. Кроме того, обилие индикаторных видов растений варьировало в зависимости от стадии сукцессии. Индикаторы могут быть использованы не только на парцеллярном уровне, но и для всех пробной площади.



Рисунок 2.3 – Изучение подроста древесных растений

При систематизации парцелл использовали ряд признаков. По роли в сложении фитоценозов применяли классификационные подразделения Е.И. Лавренко (1952): выделены

эдификаторные (господствующие) и подчиненные синузии. По занимаемой площади – основные и дополнительные (Дылис и др., 1964). По степени устойчивости во времени – коренные и производные (Дылис, 1969). Участие видов в сложении травяно-кустарничкового яруса и синузий оценивали по обилию, степени проективного покрытия и фитомассе.

С целью оценки проективного покрытия ярусов и видов был выбран метод дробного учета (Раменский, 1971). Мы применяли деревянную рамку размером 1х1 м, которая была поделена леской на сто квадратных ячеек (их размер составил 10х10 см). Одна ячейка данной рамки составляет один процент от квадратного метра. Для пробной площади закладывали не менее 25 метровых площадок. Для лесных участков с мозаичной структурой травяно-кустарничкового яруса количество учетных площадок увеличивалось до 50 (рисунок 2.4).



Рисунок 2.4 – Изучение травяно-кустарничкового яруса

Наиболее важной характеристикой растений признана их продуктивность. Это связано с тем, что на формирования фитомассы действует весь комплекс факторов, а она сама отражает их комплексное влияние (Лавренко, 1959; Родин и др., 1968). Определение запаса фитомассы выполнено в период максимального развития травостоя (в июле). На пробных площадях Южного Урала закладывали по 25 учетных площадках размером 0,5х0,5 м, на Среднем Урале – по десять –



двадцать учетных площадок размером 1x1м. Укосы разбирались по видам, высушивались до абсолютно сухого состояния и взвешивались. Объем собранного материала представлен в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Объем собранного материала

Район исследований	Западные низкогорья. Южный Урал	Зауральская холмисто- предгорная провинция. Средний Урал
Количество пробных площадей	35 в каждой по 4 секции	253
Число площадок для учета подроста	2150	4060
Число укосов для определения фитомассы растений травяно- кустарничкового яруса	1230	2680

### 2.3.6. Почвенные исследования

Выполнены полнопрофильные почвенные разрезы, морфология почв описана по общепринятым методикам (Розанов, 2004), названия даны в соответствии с традиционной классификацией (Классификация и диагностика почв..., 1977).

Для Южного Урала почвенные исследования выполнены Е.М. Фильрозе и Г.Г. Новгородовой при личном участии автора (Андреев, Фильрозе, Четкина, 1994; Иванова, Новгородова, Андреев, 2000). На Среднем Урале изучение почв проводилось совместно с Е.С. Золотовой (Иванова, Золотова, 2011; Золотова, Иванова, 2012; Ivanova, Zolotova, 2011, 2013).

### 2.3.7. Номенклатура

В качестве основы классификации растительности использованы принципы генетической лесной типологии, разработанные Б.П. Колесниковым (1956, 1958 а, б) и региональные схемы типов леса Е.М. Фильрозе (1958, 1966, 1967, 1972, 1983, 1986), составленные для Южного Урала. Названия типов леса для Южного Урала даны согласно Е.М. Фильрозе (1958, 1966, 1967, 1972, 1983, 1986) (приложения 1-3), для Среднего Урала – по сводке типов леса (Колесников и др., 1973) (приложение 4). Названия растений – согласно С.К. Черепанову (1995), почв – по традиционной классификации для обеспечения преемственности с предыдущими

исследованиями (Классификация и диагностика почв..., 1977).



Рисунок 2.5 – Изучение почв

## **2.4. Методы статистического анализа данных**

### **2.4.1. Описательные статистики**

Начальный этап анализа данных включал получение описательных статистик: среднего значения с доверительным интервалом (с уровнем  $p=0,95$ ), стандартного отклонения, коэффициента вариации (отношение стандартного отклонения к среднему значению), минимума и максимума, асимметрии (мера симметричности распределения) и эксцесса (мера остроты пика распределения). Описательные статистики получены с помощью Excel. В качестве теста на нормальность распределений использован W-критерий Шапиро-Уилка, а однородность внутригрупповых дисперсий проверена на основе теста Левена (Халафян, 2010).

### **2.4.2. Дисперсионный анализ**

Изучение зависимостей между признаками и факторами проведено методами дисперсионного (однофакторного и многофакторного) анализа. Данный анализ представляет собой метод оценивания воздействий на объект изучения. Метод оказывается полезным, если признак является количественным, а фактор качественным. Преимуществом является возможность выявления связи между факторами (Халафян, 2010). Требования к нормальности распределения учитывались, хотя жестких требований к этому ANOVA не предъявляет, а F-критерий достаточно устойчив к отклонению от нормальности (Халафян, 2010).

### **2.4.3. Апостериорные сравнения средних значений**

Для проверки гипотезы о статистически значимых различиях использован LSD-тест (для небольшого количества парных сравнений) и HSD-тест (при множественном сравнении). Метод LSD был предложен Фишером в 1935 году (Закс, 1976) и является наиболее простым и надежным, если количество пар сравнений не велико. Он имеет и другое название: безопасный t-тест. HSD Тьюки (критерий подлинной значимости), также называемый Тьюки HSD, WSD, критерий Тьюки, контролирует частоту ложноположительных результатов с поправкой на эффект множественных сравнений. Это означает, что если производится проверка на уровне 0,05, то при выполнении всех парных сравнений вероятность получения одного или нескольких ложноположительных результатов составляет 0,05. При небольшом количестве парных сравнений оба теста дают идентичные результаты.

#### 2.4.4. Анализ соответствий

Если имеется большой объем многомерных данных, то традиционные инструменты статистической обработки редко оказываются эффективными, т.к. их задачей является проверка гипотез, а проблеме системного изучения данных внимания не уделяется. Кроме того, с их помощью можно анализировать только независимые нормально распределенные данные (Шафир, 2009). В реальных ситуациях приходится иметь дело с более сложными случаями и эти требования не выполняются, поэтому необходимы принципиально другие надежные методы.

В лесной экологии показал многочисленные положительные результаты и стал активно использоваться анализ соответствий, который был разработан в 1973 году и подробно описан в литературе (Greenacre, 1984). В последнее время анализ соответствий стал очень популярным для изучения лесов (Ter Braak, 1987; Okland, 1990; Okland, Eilertsen, 1993, 1996; Oliver et al., 2000; Wulder et al., 2009; Lippok et al., 2014). Приоритет данного метода при выборе обусловлен его удобством с одной стороны и отсутствием каких-либо ограничений на данные с другой. Еще одной важной положительной особенностью является возможность его использования при работе с очень большими массивами данных, и получать исчерпывающую информацию о структуре анализируемого объекта. Алгоритм анализа сходен с факторным. Различия заключаются в использовании другой меры близости (коэффициент корреляции или ковариации в факторном анализе и хи-квадрат в анализе соответствий). Среди достоинств можно отметить еще следующие: отсутствие требования нормальности распределения и широкое представление в стат. пакетах, представление результатов в наглядной форме в виде ординационных диаграмм, лучше справляется с нелинейными откликами видов (Jongman et al., 1987).

Однако, анализ соответствий (как и большинство других многомерных методов) страдает от двух основных проблем: арочного эффекта (искривление прямых градиентов) и сближение точек в начале и конце градиента. Данные проблемы приводят к тому, что вторая ось анализа соответствий может оказаться артефактом и ее сложно интерпретировать. Из-за второй проблемы расстояния между точками вдоль первой оси не обязательно связаны с количественными изменениями вдоль начального градиента.

С целью улучшения интерпретации анализа соответствий Хилл и Гаух (Hill, Gaugh, 1980) разработали вариант под названием «Detrended Correspondence Analysis» (неотклоняемый анализ соответствий) или кратко DCA. Этот анализ является более надежным и полезным инструментом для исследования данных в экологии сообществ (Shaw, 2006). DCA начинается с запуска стандартного анализа соответствий. Затем новый алгоритм делит первую ось на

сегменты (по умолчанию = 26) и изменяет масштаб каждого сегмента, вторая ось центрируется на ноль. Масштаб изменяется так, что концы больше не сжимаются по отношению к середине. Алгоритм DCA анализа хорошо описан в литературе (Gauch, 1982; Pielou, 1984; Kent and Coker, 1992). Метод реализован в ряде программных пакетов приложений: CANOCO (Gilliam et al., 2003), DECORANA (Hill, Gauch, 1980).

#### **2.4.5. Факторный анализ**

Реальный набор факторов очень велик, а их роль различна, поэтому для выявления главных факторов был привлечен факторный анализ. В большинстве случаев данный метод дает неплохие результаты, но имеется сложность в интерпретации. Ограничение числа вовлеченных в анализ главных факторов устанавливалось с помощью критерия Кайзера. В терминологии используются: фактор в понимании скрытой переменной и нагрузка, которая представляет собой корреляцию между исходной переменной и фактором. Основным используемым методом был метод главных компонент.

Дисперсионный анализ, анализ соответствий и факторный анализ выполнены в среде программирования R с использованием пакета *vegan* (Oksanen, 2013).

R – язык программирования и бесплатная мощная программная среда для аналитических вычислений и визуализации. В нем представлено огромное количество методов для анализа и обработки данных, подходит для выполнения любых задач, работает со всеми основными операционными системами, с поддержкой тысяч специализированных модулей и утилит. Большим преимуществом R является то, что внедрение вновь созданных методов в области анализа данных сначала появляются как пакеты для платформы R («R-пакеты»), где они получают апробацию на различных объектах и в различных научных дисциплинах, и только значительно позднее их внедряют в коммерческие программные продукты (Кабаков, 2014).

#### **2.4.6. Экологические шкалы**

Проблема оценки факторов среды (в случае невозможности прямых измерений) решена с помощью эколого-флористического подхода (Westhoff, van der. Maarel, 1978) и диапазонных экологических шкал Д.Н. Цыганова (1983). Среди разработанных и массово используемых экологических шкал Цыганова имеют ряд преимуществ для уральских объектов. Во-первых, в них можно найти большее количество видов, которые произрастают на Урале, во-вторых, большой спектр исследуемых факторов, а именно десять, в то время как в шкалах Раменского всего пять

(Раменский и др., 1956). В современных исследованиях данный метод используется достаточно широко. Свою популярность он получил после длительных исследований, которые показали отличный результат оценивания условий экотопа и наиболее значимых экофакторов, в том числе и прогнозных оценок (Булохов, 2004; Лапшина и др., 1996; Зверев, 2009; Широких, 2009; Миркин и др., 2010; Бармин и др., 2010), для ординации фитоценозов (Комарова, Прохоренко, 2001; Королюк и др., 2005), для исследования сукцессий (Селедец, 2000; Ткаченко, 2000). Основываясь на результатах перечисленных исследований, экологические шкалы были использованы нами в тех случаях, когда не было возможности прямых измерений факторов среды. В тех случаях, когда прямые измерения были возможны, проведен анализ соответствия оценок факторов, полученных на основе прямых измерений и с помощью экологических шкал. Химические анализы выполнены Е.С. Золотовой (Золотова, 2013; Золотова и др., 2013). Проведенные нами исследования выявили отличное соответствие этих двух различных подходов.

Традиционный подход к расчету экологических режимов основан на применении двух таблиц: экологических амплитуд видов и шкал факторов (Бузук, Созинов, 2007). Регрессионный метод (Бузук, Созинов, 2007, 2009) заключается в расчете регрессии для верхнего и нижнего диапазонов значений баллов факторов относительно их диапазона. Пример определения балла регрессионным методом по термоклиматической шкале и шкале трофности приведен на рисунках 2.6 и 2.7. Алгоритм реализован в виде рабочего листа к Excel 2007 (Бузук, Созинов, 2007, 2009). Применение данного способа расчета позволяет не только оценить величину фактора для данного местообитания, но и определить его значимость на 0,05 доверительном уровне, верхний и нижний доверительные интервалы для коэффициентов регрессии, а также коэффициент детерминации ( $R^2$ ), характеризующий силу связи.

Различия в коэффициенте детерминации для верхнего и нижнего диапазонов указывают на лимитирующее значение экологического фактора (Бузук, Созинов, 2007, 2009).

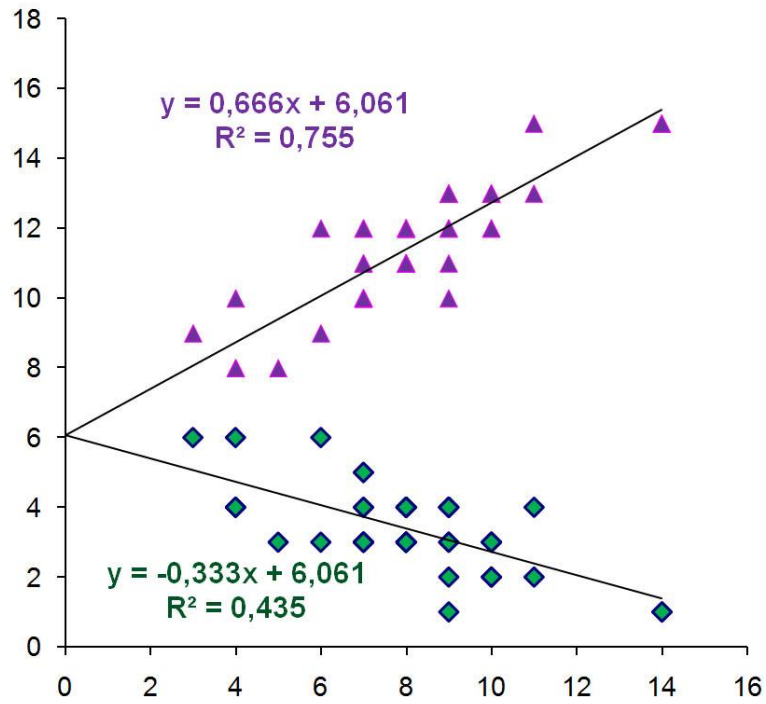


Рисунок 2.6. Определение регрессионным методом итогового балла по термоклиматической шкале для ельника травяно-зеленомошникового Зауральской холмисто-предгорной провинции: пересечение полученных линий регрессии с вертикальной осью указывает искомый балл

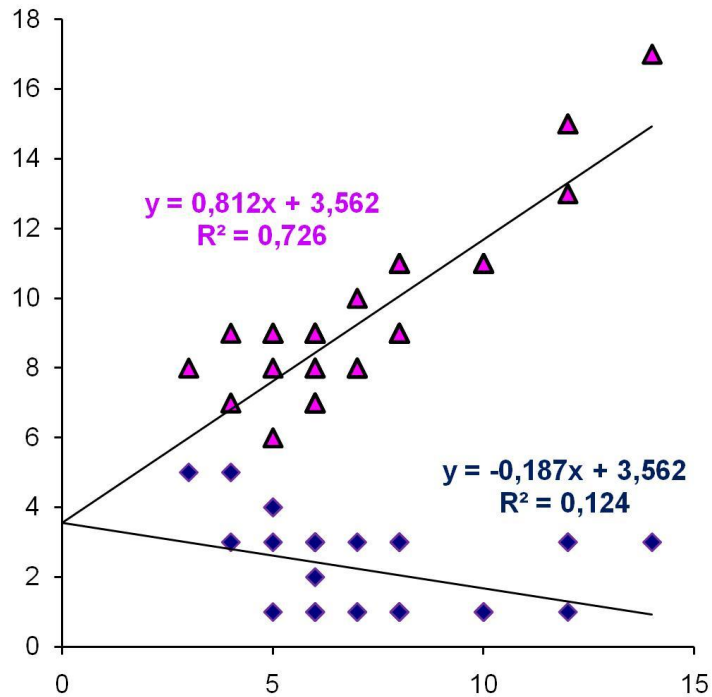


Рисунок 2.7. Определение регрессионным методом итогового балла по шкале трофности для ельника травяно-зеленомошникового Зауральской холмисто-предгорной провинции: пересечение полученных линий регрессии с вертикальной осью указывает искомый балл

### 2.4.7. Ранговые распределения

Структура фитоценоза описывается двумя фундаментальными параметрами – списком видов и функцией неоднородности их обилия. Наиболее наглядно демонстрируют видовую структуру ранговые распределения, которые можно считать фундаментальным законом и важным способом отображения композиции фитоценоза (Пузаченко, 2016). Для того чтобы понять как организован фитоценоз необходимо проанализировать распределение обилий видов. В англоязычной литературе для этого принят термин «species abundance distributions» или сокращенно «SAD» (Пузаченко, 2016). Доказано, что параметры данного распределения ненарушенной (коренной) экосистемы варьируют в определенном диапазоне (Левич, 1980; Шитиков и др., 2011). Под воздействием экзогенных факторов набор видов может изменяться, но ранговое распределение остается стабильным до определенных критических значений деструктивного фактора и, соответственно, является некоторой количественной мерой устойчивости экосистемы. Поэтому важно знать эталонное распределение для коренных лесов и закономерности его трансформации внешними деструктивными факторами. Данный подход можно использовать для нормирования влияния факторов. Для этого необходимо установить область нормального функционирования экосистем и интенсивность факторов, при которой начинается трансформация SAD (Левич, 1994). Для того чтобы формализовать анализ принято использовать различные аппроксимации: экспоненциальная модель, гиперболическая модель, объединяющее их дзета-распределение, модель «разломанного стержня» (Левич, 1980; Яблонский, 1986; Кудрин, 2002). Многие авторы указывают, что «SAD» чаще всего хорошо соответствуют распределению Гиббса (Motomura, 1932; Уиттекер, 1980; Левич, 1978, 1980). Б. Мандельброт (2002) и Ю.А. Шрейдер (1967) показали, что формула Гиббса связана с другими законами. Также было доказано (Левич, 1978, 1980), что модель SAD зависит от того как растения относятся к доступному ресурсу. Законы Гиббса или Мотомуры реализуется при линейной зависимости растений от количества ресурса, а закон Ципра-Парето – при логарифмической зависимости. Мы построили SAD для надземной фитомассы видов травяно-кустарничкового яруса. Для аппроксимации использованы экспоненциальные и степенные функции (Кудрин, 2002). Построены ранговые модели. Проведен анализ на соответствие полученных ранговых распределений универсальным законам Гиббса (Мотомуры) и Ципра-Парето.



## 2.5. Методы нелинейной динамики для анализа прогнозирования динамики лесов

### 2.5.1. Системы логистических дифференциальных уравнений

Системы взаимосвязанных дифференциальных логистических уравнений были использованы нами для моделирования сопряженности восстановительно-возрастной динамики ярусов лесной растительности и совместного роста нескольких видов древесных растений (Lotka, 1925; Базыкин, 1985; Быстрой и др., 2004; Куклин и др., 2005):

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx_1}{dt} = A_1x_1 - B_1x_1^2 + C_1x_1x_2 \\ \frac{dx_2}{dt} = A_2x_2 - B_2x_2^2 + C_2x_1x_2 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{dx_1}{dt} = A_1x_1 - B_1x_1^2 + C_1x_1x_2 \\ \frac{dx_2}{dt} = A_2x_2 - B_2x_2^2 + C_2x_1x_2 \\ \frac{dx_3}{dt} = A_3x_3 - B_3x_3^2 + C_3x_1x_3 + C_4x_2x_3 \end{array} \right.$$

В этих уравнениях все параметры имеют биологический смысл. Так  $A=1/\tau$  и показывает, как быстро увеличивается функция, т.е. способность дерева к росту;  $\tau$  – является характерным моментом времени и показывает, сколько требуется времени, чтобы произошли значимые изменения.  $B=1/\tau K$  – комплексный параметр всегда отрицательный. Он указывает на наличие факторов, ограничивающих рост.  $K$  – является пределом и имеет смысл емкости экологической ниши. Он зависит от комплекса факторов и отражает их действие в своих значениях. Достоинствами данных уравнений является два важных свойства. Первое из них – это экспоненциальный рост при малых  $x$ , второе свойство – замедление роста с возрастанием  $x$  и приближение к пределу  $K$  (Быстрая и др., 2004; Куклин и др., 2005).

Для того чтобы решить составленные системы уравнений был использован *MathCAD 2001*. Для этой среды д.ф.-м.н Г.П. Быстрой создал программный продукт и подробную методику его использования (Куклин и др., 2005). Поиск значений параметров уравнений основан на решении обратной задачи, суть которой заключается в подборе значений параметров методом последовательного приближения к полученным данным. Для этого использована функция  $rkfixed(y_0, t_{нач}, t_{кон}, n, D)$ , где  $y_0$  – начальные условия,  $t_{нач}$  и  $t_{кон}$  – абсциссы начальной и конечной точки интегрирования,  $n$  – число шагов интегрирования,  $D$  – функция вектор правых частей системы (Очков, 1999). Функция *rkfixed* решает дифференциальные уравнения методом Рунге-Куты (*rk*) четвертого порядка с фиксированным шагом (*fixed*)

интегрирования. Метод считается надежным и позволяет почти всегда решить дифференциальное уравнение (Очков, 1999).

### 2.5.2. Теория катастроф

Нами использована одна из семи элементарных катастроф – катастрофа сборки. Она описывается уравнением:

$$\frac{dx}{dt} = -\frac{\partial F}{\partial x} \quad \text{или} \quad \frac{dx}{dt} = -(x^3 + ax + b) \quad (1)$$

$F$  – потенциальная функция, определяющая энергетическую характеристику системы.

$$F(x, a, b) = \frac{1}{4}x^4 + \frac{1}{2}ax^2 + bx \quad (2)$$

В уравнении  $x^4$  является ростком катастрофы,  $\frac{1}{2}ax^2 + bx$  – возмущением.

Рисунок 2.8 дает наглядное изображение катастрофы сборки. Показаны два листа: лист состояний и лист управляющих параметров. Лист состояний описывается уравнением:

$$x^3 + ax + b = 0 \quad (3)$$

Каждая точка листа состояний соответствует экстремумам потенциальной функции  $F$ . Каждая точка листа управляющих параметров соответствует заданным значениям двух управляющих параметров  $a$  и  $b$ .

Локальная или глобальная устойчивость текущего состояния системы определяется видом потенциальной функции  $F$  (рисунок 2.9).

Для локально устойчивых состояний один из минимумов выражен слабо. Это соответствует метастабильному состоянию. Равновесию двух состояний соответствует симметричный потенциал  $b = 0$ .

$$F(x, a) = \frac{1}{4}x^4 + \frac{1}{2}ax^2 \quad (4)$$

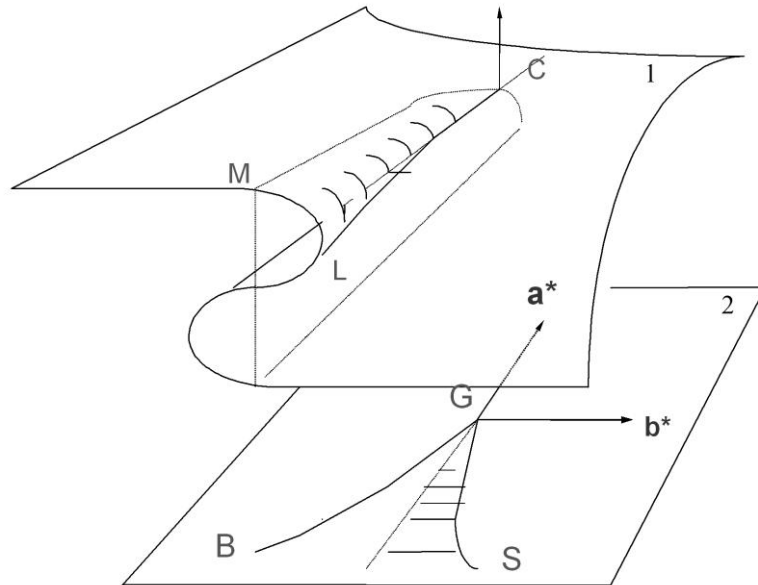


Рисунок 2.8 – Геометрическое представление катастрофы сборки: 1 – лист состояний, 2 – лист управляющих параметров,  $MCL$  – метастабильное состояние (заштриховано),  $BGS$  – сепаратриса для уравнения состояния.

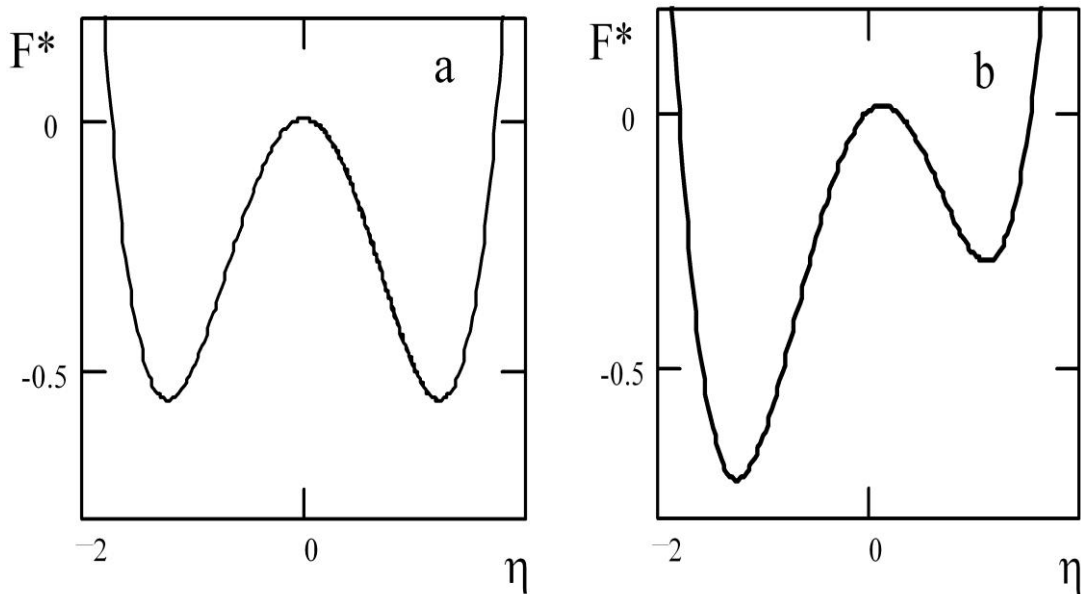


Рисунок 2.9 – Потенциальные функции: а – равновесие двух состояний, б – локально устойчивые состояния.

Согласно теореме Тома для катастрофы сборки вводятся следующие особые (в математическом отношении) точки.

$$1. \frac{dF}{dx} = 0 \quad x^3 + ax + b = 0 \quad - \text{ вырожденные точки (соответствуют экстремуму}$$

потенциальной функции  $F$ ).

$$2. \frac{d^2F}{dx^2} = 0 \quad 3x^2 + a = 0 \quad - \text{ дважды вырожденные точки, расположенные по линиям}$$

$BG, SG$  (решения, соответствующие двум экстремумам потенциальной функции становятся равными).

$$3. \frac{d^3F}{dx^3} = 0 \quad - \text{ трижды вырожденная точка } G \text{ (решения, соответствующие трем}$$

экстремумам потенциальной функции становятся равными нулю).

Из совместного решения 1 и 2 следует уравнение для сепаратрисы:

$$\left(\frac{a}{3}\right)^3 + \left(\frac{b}{2}\right)^2 = 0 \quad (5)$$

Сепаратриса является предельной для метастабильных состояний.

Восприимчивость характеризует изменение переменной  $x$  при изменении внешних условий:

$$\chi = \frac{1}{3x^2 + a} \quad (6)$$

Вычисление динамических характеристик и построение потенциальных функций выполнено в программном продукте, разработанном Г.П. Быстрыем с коллегами (Куклин и др., 2005).

## Глава 3. Природные условия района исследований

### 3.1. Географическое положение и климат

Районом наших исследований являлся Южный и Средний Урал. На Южном Урале исследовались западные низкогорья (Юрюзанско-Верхнеайская провинция горных южно-таежных и смешанных лесов (Колесников, 1969)), на Среднем – Южно-таежный лесорастительный округ Зауральской холмисто-предгорной провинции Западносибирской равнинной лесной области (Колесников, Зубарева, Смолоногов, 1973).

Б.П. Алисов в своих работах 1956 года делит территории СССР по климатическому принципу, считая, что горный Южный и Средний Урал являются частью атлантико-континентальной лесной области умеренного пояса. Условия климата Уральской горной страны хорошо описаны в публикациях А.А. Боярской (1967), Лидера (1976) и многих других.

Западные низкогорья Южного Урала подвергаются влиянию влажной и прохладной атлантической морской воздушной массы практически в течение всего года и главная характеристика климата – континентальность. Климат неоднороден, что связано с расчлененностью горного рельефа. Атлантические и арктические воздушные массы влияют на климатический режим и осложняют климатическую обстановку. На высотные закономерности изменений климата оказывают влияние разновысотные горные хребты, трансформирующие атлантические воздушные массы. Меридиональные хребты Урала обуславливают «барьерный эффект», а температурные инверсии сопряжены с высотой местности. Средние части склонов имеют мягкий и благоприятный температурный режим, большую и устойчивую увлажненность почв. Данный эффект наблюдается до определенной высоты, на которой возможно действие вертикального температурного градиента. Средние части склонов благоприятны для мезофитной лесной растительности, которая продвигается в сторону юга и востока вдоль горных возвышенностей. Более засушливая растительность преобладает на территориях широких долин и прилегающих к ним подножьях склонов.

А.И. Кайгородов (1955) описывает зиму как холодную и умеренно холодную. Устойчивость снежного покрова устанавливается позже, чем выпадает первый снег примерно на 15 суток (конец сентября – начало октября), а максимальную высоту достигает в марте. Двадцатиградусные морозы могут держаться в течение нескольких недель, а минимальные температуры достаточно низкие (от  $-30^{\circ}\text{C}$  до  $-40^{\circ}\text{C}$ ) (Таблица 3.1) и зависят от рельефа. Средние температуры за декабрь-февраль достигают от десяти до пятнадцати градусов. Зимний температурный режим может претерпевать значительные изменения в разные годы.

Весенний период наступает при установлении средней суточной температуры воздуха выше  $0^{\circ}\text{C}$ , что в дальнейшем способствует разрушению устойчивого снежного покрова. На Южном Урале (западные низкогорья) снежный покров лежит до мая. Характер весны напрямую влияет на процесс оттаивания почвы. В среднем почва оттаивает на 10 см через два – шесть дней после того, как сошел снежный покров. Для первой половины весны характерна резкая смена погоды, а ее начало и окончание варьируют в пределах месяца.

А.И. Кайгородов (1955) характеризует лето как теплое. Перестройка циркуляции атмосферы заканчивается в июне и свидетельствует о переходе к летнему режиму. Нагревание атмосферы продолжается. В это время с юга и юго-запада увеличивается вынос теплого воздуха, который временами замещается холодными потоками с севера. Повторение западных, юго-западных и северных ветров характерно для всего летнего периода. Июль считается самым теплым и влажным месяцем, средняя температура в июле  $16,7^{\circ}\text{C}$ , а количество осадков от 101 до 115 мм. Погодные условия могут иметь значительные отличия не только между годами, но и в течение сезона. Средняя длительность безморозного периода продолжается около ста двадцати дней (Таблица 3.1). Сокращение безморозного периода происходит при повышении увлажнения. Форма рельефа и экспозиция склонов влияют на появление и исчезновение заморозков.

В осенний период количество дождей увеличивается в сравнении с летним периодом, но при этом норма осадков уменьшается: сентябрь – немного более 70 мм; октябрь – около 60 мм (данные метеостанции «Катав-Ивановская»). Кроме того осенью происходит рост средней влажности до восьмидесяти пяти процентов. Преобладают западные, юго-западные и северо-западные (средняя скорость 1,3-4,3 м/сек) ветра (Таблица 3.1).

Обычным является отклонение начала сезонов и их окончания в разные годы, порой на целый месяц. К.В. Кувшинова (1968) в своей работе пишет, что раннее или позднее наступление и окончание сезонов возможны с вероятностью около пятнадцати процентов.

Уральские горы являются препятствием для проникновения в сторону востока влажного воздушного воздуха и играют роль барьера, что напрямую влияет на климат (Колесников, Зубарева, Смолоногов, 1973). Характерная черта климата – континентальность. По мнению К.В. Кувшиновой (1968) ее усилению способствуют уральские горы, а именно их меридиональная направленность.

Климатические условия Зауральской холмисто-предгорной провинции зависят от двух факторов:

а) незначительная высота над уровнем моря (влияет на положительные температуры);

б) расположение на восточном склоне (способствует уменьшению выпадения осадков, что может приводить к образованию степей).

Таблица 3.1 – Климатические характеристики западных низкогорий Южного Урала (Проект организации..., 1987; Метеорологический ежемесячник, 1975-1994)

Элемент климата	Лесная зона
Среднемесячная температура, °С: самого теплого месяца (июль)	16,7
самого холодного месяца (январь)	-12,5 – -15,0
Абсолютный максимум температуры воздуха, °С	34 – 35
Абсолютный минимум температуры воздуха, °С	-30 – -40
Продолжительность безморозного периода, день	110 – 120
Продолжительность периода активной вегетации с температурой более или равной 10 <sup>0</sup> С, день	118
Сумма положительных температур за период с температурой выше 10 <sup>0</sup> С	1900
Годовая сумма осадков, мм	550 – 650
Максимальная высота снежного покрова, см достигается в марте	56 – 64

Мезоклимат формируется благодаря температурным инверсиям, за счет которых нижние части гор более холодные и с более частыми заморозками, а средние части склонов наиболее теплые. Проявление данного эффекта происходит от горы к горе (Колесников, Зубарева, Смолоногов, 1973).

А.И. Кайгородов (1955) характеризует зиму холодной, с частым распространением морозного арктического воздуха. Характеристика температур приведена в таблице 3.2. Максимальное из отмеченных снижений температуры достигало -50<sup>0</sup> С (редкое явление). В то время как средняя температура в зимний период составляет минус 20-25<sup>0</sup> С. При этом средняя глубина снежного покрова может варьировать от 45 до 70 см. Тридцать процентов среднего

годового количества осадков связано со снегопадами. Промерзание почвы возможно до 50 см в глубину.

Таблица 3.2 – Климатические характеристики Зауральской холмисто-предгорной провинции Среднего Урала (Агроклиматические ресурсы Свердловской области, 1978)

Элемент климата	Лесная зона
Среднемесячная температура, °С: самого теплого месяца (июль)	16,0 – 17,0
самого холодного месяца (январь)	-17,0 – -19,0
Абсолютный максимум температуры воздуха, °С	35 – 39
Абсолютный минимум температуры воздуха, °С	-48 – -50
Продолжительность безморозного периода, день	100 – 105
Продолжительность периода активной вегетации с температурой более или равной 10°С, день	119 – 123
Сумма положительных температур за период с температурой выше 10°С	1600 – 1800
Годовая сумма осадков, мм	450
Максимальная высота снежного покрова, см достигается в марте	50–75

Весенний период характеризуется резкими изменениями погодных условий, например, возвращение похолоданий способствует задержанию весны практически на месяц. Независимо от этого, с начала марта и до апреля приходит быстрое потепление и в мае, в связи с поступлением тепла со стороны Казахстана, средний минимум температуры становится положительным. В работе К.В. Кувшиновой (1968) отмечается важная для растений особенность весеннего периода: увеличение количество осадков. Сохранение снежного покрова возможно до мая (под пологом леса). К.В. Кувшинова (1968) пишет, что оттаивание почвы до глубины десять сантиметров происходит через неделю после того, как сошел снег.

А.И. Кайгородов (1955) характеризует летний период как теплый, но короткий. Лето такое же, как и на Южном Урале, но более прохладное: перестроение циркуляции атмосферы



заканчивается в июне, западные ветра.

Осенний период начинается с перестройки воздушной циркуляции и установления азиатского антициклона, появления ночных заморозков. Происходит чередование понижения и повышения температур. К.В. Кувшинова (1968) отмечает, что в октябре появляются морозы с понижением температуры до минус  $20^{\circ}\text{C}$ .

### 3.2. Рельеф и геологическое строение

Для Урала отмечается сложное геологическое развитие. Байкальский и геоцинский орогены играют важную роль формирования морфоструктуры. У орогенов происходили смены этапов: а) тектоническая стабильность; б) глубокая денудация; в) новые тектонические движения, что отмечено в ряде публикаций: Н.В. Башенина (1948); Д.В. Борисевич (1968); Б.П. Колесников (1969).

По мнению И.М. Крашенинникова (1951) нижнетретичное море имело значение. На месте Урала нашего времени была холмистая равнина, которая существовала в начале неогена. Абсолютные высоты в ее центре составляли четыреста – пятьсот метров над уровнем моря, а по краям всего сто пятьдесят – двести метров, присутствовали единичные останцовые возвышенности с высотой 700-800 метров (Вахрушев, 1959). Исследователи отмечают несколько этапов увеличения тектонической деятельности, которые происходили в момент верхнего неогена-плейстоцена. Все этапы сопровождались эрозиями, происходило углубление старых речных долин, заложение новых, образование уступов, плато и террас. И.П. Варламов (1959) и Г.В. Вахрушев (1959) в своих трудах пишут, что за неоген-четвертичный период центральная часть (горная) Урала приподнялась приблизительно на семьсот метров, это привело к тому, что вершины выдвинулись в зону морозного выветривания (гольцовое выветривание).

Горный Южный Урал слабо поднялся в голоцене, а восточное Зауралье, напротив, испытывало слабые опускания. По данным (Лидер, 1976) колебательная амплитуда была не более двадцати метров. В голоцене происходило формирование денудационно-аккумулятивных уровней рельефа нашего времени. Отложения голоцена представляют собой залежи сапропеля и торфа в бывших и существующих озерах и болотах.

Объекты исследования на Южном Урале располагаются в западной части (горная часть). А.А. Макунина (1974) пишет, что по физико-географическому расположению изучаемая территория имеет отношение к провинции западных низкогорий южно-уральской физико-географической области Уральской горной страны.

Западные части в основном состоят из выровненных поверхностей, таких как террасы, седловины и плато. Также часто встречаются скалистые пики, гребни и останцы (древняя кора выветривания). Пригляциальные формы рельефа – это нагорные террасы и каменные россыпи (курумы). Развитие нагорных ступеней произошло на высоте до 1000 м, а каменные реки опускаются до 600 м, ниже можно встретить отдельные изолированные россыпи (участки до 550 м). Башкирский антиклинорий включает в себя хребты и западные горы. Железистые кварциты и гнейсы являются древними породами, относящиеся к архею и протерозою. Поздняя

магматическая деятельность выявляет интрузивные тела габбро и граниты, выше залегания рифейских песчано-глинистых сланцев, известняка, кварцитовидных песчаников, доломитов (Борисевич, 1968; Геология..., 1969).

На Среднем Урале высота над уровнем моря вершин гор значительно уступает Южному. Если Южный Урал представлен более чем десятком параллельных гребней, которые имеют максимальные высоты до 1600 метров, то на Среднем Урале можно наблюдать лишь сглаженный рельеф. Возвышенности имеют ровные спокойные очертания. Высоты составляют до 300-400 метров над уровнем моря. Все вершины покрыты лесом. В понижениях располагаются небольшие реки и озера. Направление возвышенностей преимущественно меридиональное. Своему современному облику Средний Урал во многом обязан ледниковому периоду, во время которого произошли процессы выветривания. Рельеф признан главным фактором, который определяет ландшафт. Эрозионные процессы привели к формированию аллювиальных (по берегам рек) и делювиальных (в нижних частях склонов гор) отложений. Кроме него имеет значение геологическое строение (Перельман, 1979), которое достаточно однородно на исследуемой территории. Представлены палеозойские осадочные породы. Наиболее часто встречаются также граниты и гранодиариты (Гафуров, 2008). Особенно привлекают к себе внимание выходы горных пород и живописные скалы по берегам рек.

Рельеф оказывает влияние на особенности растительности. На Южном Урале четко прослеживается высотная поясность, на Среднем лишь ее элементы в виде формирования в средних частях склонов более богатой растительности и большего обилия неморальных видов растений.

### 3.3. Почвенный покров Южного и Среднего Урала

Общая характеристика почвенного покрова Среднего и Южного Урала дана Г.А. Маландиным (1936), Е.Н. Ивановой (1947, 1949), Г.Г. Каменским (1955, 1958, 1967), К.П. Богатыревым и Н.А. Ногиной (1962). Более углубленные исследования горно-лесных почв были проведены Б.А. Лебедевым (1949), Ю.Д. Абатуровым (1961, 1966), Р.С. Зубаревой и В.П. Фирсовой (1963), Г.К. Ржанникова (1965, 1973), З.Н. Арефьевой и Е.М. Фильрозе (1974), В.П. Фирсовой (1972, 1978), Г.Г. Новгородовой (1996, 1997, 1998, 2002), В.Н. Даниликом (Данилик и др., 1991), Ю.П. Горичевым с соавторами (2009) и другими исследователями.

Разнообразие почв определяет главным образом высотная поясность. Морфология и химия почв во многом зависят от положения в рельефе. Крутые и пологие склоны имеют различия, как в мощности почвенного профиля, так и в химических свойствах. Отдельно следует рассматривать почвы вогнутых и выпуклых склонов. В понижениях рельефа нередко происходит оглеение и заболачивание (Колесников, 1961б; Фирсова, Ржанникова, 1972). Характеристика наиболее распространенных почв приведена в таблице 3.3. В классификационных схемах лесорастительных условий и типов леса Южного (Фильрозе, 1983; 1986) и Среднего Урала (Колесников и др., 1973) мощность почв выступает главным критерием. Важность критерия понимается в следующем: в зависимости от мощности почвы в ней может содержаться различное количество влаги и элементов минерального питания. Чем мощнее почва, тем больше она содержит ресурсов для растений. Данная закономерность является ключевой в лесной типологии горных территорий. От мощности почв в конечном итоге во многом зависит состав и структура растительных фитоценозов, а от положения в рельефе интенсивность эрозии после рубок, пожаров и ветровалов (Колесников, 1969).

Исследования влияния на почвы рубок леса выявили ее чувствительность к данному воздействию (Новгородова, и др., 1995). Реакция на воздействие не однозначна в различных лесорастительных условиях и интенсивности нарушений древостоя. Возможны как отрицательные эрозионные процессы, так и положительные эффекты, например, увеличение гумуса.

На почвообразование на Южном Урале оказывают влияние, главным образом, горный рельеф, континентальный климат, широкое распространение как древних, так и молодых почвообразующих пород с сиалитным, триальферным типами выветривания (Таргульян, 1971), которые обуславливают большую пестроту и своеобразие почвенного покрова.

Таблица 3.3 – Характеристика наиболее распространенных почв района исследований  
(Фирсова, Ржанникова, 1972)

Название почвы	Характеристика
<b>Бурые горно- лесные</b>	<p>Характерная особенность – слабая дифференциация профиля на генетические горизонты, отсутствие или слабое проявление признаков оподзоливания, высокая скелетность, нарастающая вниз по профилю, небольшая мощность (от 20 до 100 см), наличие подстилки 2 – 4 см и гумусового горизонта 5 – 7 см. В окраске почвенного профиля преобладают бурые тона, интенсивность которых с глубиной ослабляется. Иллювиальный горизонт ни по цвету, ни по структуре не выражен.</p> <p>Имеют слабокислую, реже кислую, реакцию среды, мало изменяющуюся по профилю, наименьшая кислотность – в верхних горизонтах. Обменная кислотность очень мала: в гумусово-аккумулятивном горизонте она обусловлена водородом, а вниз по профилю возрастает роль алюминия. Гидролитическая кислотность достигает больших величин в органогенных горизонтах и с глубиной резко падает. В групповом составе гумуса преобладают фульвокислоты, количество которых с глубиной увеличивается. Гуминовые кислоты отличаются высокой подвижностью и дисперсностью</p>
<b>Дерново- палево- подзолисты</b>	<p>Отличаются от неполноразвитых и типичных бурых горно-лесных почв морфологически ясно выраженной оподзоленностью при небольшой мощности почвенного профиля, в среднем состоящей 60–80 см. Оподзоленный горизонт имеет палевою или желтовато-бурю окраску. Формирование происходит на делювии тех же пород, элювий которых служит почвообразующими породами для бурых лесных почв. Но данные почвы развиваются на менее хрящеватых породах и занимают более низкие по рельефу местоположения по сравнению с бурыми неоподзоленными. Формируются при более повышенной влажности, но не приводящей к застою влаги и признакам оглеения в профиле.</p> <p>Вторая особенность – наличие маломощной подстилки, составляющей в среднем 2 см, с колебаниями от 1 до 3 см.</p> <p>Обменная кислотность колеблется от 0,1 до 1,0. В органогенных горизонтах обменная кислотность вызвана водородом, в минеральных – алюминием. Величина гидролитической кислотности здесь также невелика</p>

Южный Урал пересекает несколько почвенных зон и подзон, начиная от подзон серых и темно-серых почв и заканчивая подзонами обыкновенных и южных черноземов (Герасимова, 2007). В субкоренных лесах почвоведомы описаны серые и бурые горно-лесные почвы (Арефьева, Фильрозе, 1974; Фирсова и др., 1978). Последние характеризуются бурой окраской профиля, светлеющей к почвообразующей породе, либо остающейся красновато-бурой в случае развития на красноцветных глинистых сланцах и кварцитах (бурые литогенные почвы). Эти почвы хорошо дренированы за счет склонового положения и нередко высокой щебнистости (Новгородова, Андреев, 1997).

На Среднем Урале район исследований расположен в таватуйском почвенном районе Среднеуральской южно-таежной почвенной провинции (Почвенная карта, 1990). Для района исследований характерно почвообразование на элювии (щебнистом и каменистом), элюво-делювии, делювии магматических и метаморфических пород (Фирсова, Ржанникова, 1972). На горных склонах почвы хорошо дренированы, их отличает высокая каменистость и щебнистость. Сложность ландшафта и длительная история формирования Уральских гор определила разнообразие почв, которое хорошо описано в литературе (Гафуров, 2008). Характеристика наиболее распространенных почв приведена в таблице 3.3. Четко прослеживаются взаимосвязи особенностей почв с положением их в рельефе, которые необходимо учитывать. Здесь главными факторами являются разнообразие почвообразующих пород и режим увлажнения почвогрунтов. В результате формируется характерный «рисунок» распределения почв в районе исследований (Гафуров, 2008).

### 3.4. Растительность Среднего и Южного Урала

Особенности растительного покрова Среднего и Южного Урала проанализированы рядом исследователей. Одним из приоритетных направлений является исследование структуры и продуктивности коренных и производных лесов (Горчаковский, 1956, 1959; Колесников, 1969; Зубарева, 1967, 1971, 1986; Гальперин, Коростелев, 1975; Усольцев, 1985, 1998; Луганский, Нагимов, 1994; Горичев, 1997; Нагимов, 2000; Залесов, Луганский, 2002; Санников, Петрова, 2008). Также многочисленные и разноплановые исследования посвящены естественному возобновлению древесных растений, восстановительно-возрастной динамике лесов и процессам формирования древостоев (Колесников, 1960; Смолоногов, 1960, 1990; Санников, 1961, 1968, 1992, 1997, 2006; Коновалов, 1968, 1978; Данилик, 1968; Луганский, 1974; Исаева, Луганский, 1975, 1981; Колесников и др., 1975; Луганский, Макаренко, 1977; Исаева, 1981; Санников, Санникова, 1985; Данилик и др., 1986; Санников, 1992; Мельникова и др., 1992; Луганский, 2002; Галако и др., 1993; Алесенков, 1997; Андреев, 1997, 2002; Сибгатулин, 2009; Фомин и др., 2015; Юровских и др., 2016). В том числе водоохраной роли лесной растительности (Мурзаева, 1968, 1969, 1970, 1975; Мельчанов, 1973; Шумаков, 1973; Шумаков и др., 1973; Побединский, 1977; Данилик, 1975, 1977; Шевелев, 1977; Миронов, 1983).

Из дендрологических исследований можно отметить серию работ (Колесников, 1958, 1961, 1969, 1973; Горчаковский, 1959, 1968; Луганский, 1961, 1964; Коновалов, Пугач, 1968; Мамаев, 1973; Семериков, 1981; Махнев, 1987).

Интересным и достаточно проработанным направлением является исследование истории формирования растительности, которая отражена в трудах И.М. Крашенинникова (1936, 1951 а, б), П.Л. Горчаковского (1968), В.Н. Сукачева и Г.И. Поплавской (1946), В.М. Раушенбаха (1956), Р.Е. Гитермана (1963), Н.А. Хотинского (1977), В.Г. Туркова (1980), Н.К. Пановой (1981, 1982, 1997, 2001, 2011), Т.Г. Антипиной с соавторами (Antipina et al., 2014).

Особое значение имеют работы по лесной типологии Д.А. Миловановича (1928), Б.П. Колесникова (1960, 1961, 1969, 1974), А.В. Письмерова (1967), Н.А. Коновалова (1968, 1978), Р.П. Исаевой и Н.А. Луганского (1980, 1981), Р.С. Зубаревой (1961, 1967, 1984, 1986), Е.П. Смолоногова (1960, 1968, 1990, 1994, 1996, 1998, 2001, 2006), Фильрозе (1966, 1967, 1983, 1997), С.Н. Санникова (1968, 2009, 2010), Е.П. Смолоногова и Н.Н. Чернова (2009), Б.М. Соловьева (2009), которые послужили основой для разработки рекомендаций по оптимизации лесопользования в горах Урала (Данилик и др., 1983, 1986; Залесов, 1988; Луганский, Залесов, 1990; Лысов, 1990; Теринов, Куликов, 1991; Залесов, Луганский, 2002; Теринов и др., 2012, 2018; Новоселова и др., 2016; Герц и др., 2017; Теринов, Луганский, 2017) и сохранению

биоразнообразия лесной растительности (Аткина, Булатова, 2010; Магасумова и др., 2016; Залесова и др., 2017).

Общие описания растительного покрова можно найти у Л.Н. Тюлиной (1929, 1931), Л.А. Соколовой (1951), М.И. Котова (1953), А.А. Цветаева (1960), Б.П. Колесникова (1961 б, в; 1964; 1985).

Природа Урала претерпела разнообразные изменения, отпечаток которых отложился в современных фитоценозах. Леса сохранили отдельные реликтовые виды растений (Колесников 1969б). К концу плиоцена Урал входил в лесную зону. Преобладала мезофитная растительность («тургайский тип»), в состав которой входили такие деревья как: сосны, кедр, ель, пихта, дуб, липа, клен, береза, тополь, ольха и другие. Данные растения сформировали хвойно-широколиственные (смешанные), широколиственные и хвойные леса. В горах могли существовать сосновые леса с папоротниками, и темнохвойные леса, в состав которых входили ели, кедры, а в подчиненных ярусах отмечены различные мхи (таблица 3.5.).

Климатический фактор в эпоху четвертичного похолодания привел к почти полному исчезновению лесов третичного периода. Выявлены лишь отдельные участки, сохранившиеся в горных лесных рифугиумах. К.Н. Игошина (1964) считает, что древесные экосистемы во время четвертичного похолодания были разрушены, а их повторное распространение произошло позже благодаря сохранению отдельных участков в горных рефугиумах.

В голоцене на Южном Урале из-за общего потепления и аридизации климатических условий произошло оттеснение тундроподобных группировок и редколесий к горным вершинам. Вместо них появились темнохвойные и светлохвойные, лиственные лесные участки. Смешанные и широколиственные леса расположились на западном, наименее аридизированном склоне и предгорных частях. Уральские горы относительно невысокие, поэтому здесь можно выделить только два или четыре высотных пояса (Горчаковский, 1968). Подгольцовый пояс (отдаленное подобие равнинной лесотундры, похожи разреженным древостоем), который встречается в верхней части склонов. Горнотундровый пояс (встречается фрагментарно, разнообразная растительность). Широколиственные (липа, дуб) леса отмечаются в нижних частях западного склона, выше их сменяет горная темнохвойная тайга (основной компонент растительности западного склона), в которой встречаются широколиственные деревья. Древесный ярус состоит из ели и пихты (деревья близки по экологическим свойствам). Распространенные лесные ассоциации – это пихтарники и ельники с липой и черникой в подчиненных ярусах. Еловые и пихтово-еловые мелколесья располагаются на верхней границе горнолесного пояса. В этих ассоциациях сильно развит травяной покров. Березовые криволесья можно встретить на вершинах гор, которые часто подвергаются действию сильного ветра. Для



роста травянистой растительности наиболее благоприятными являются условия подгольцевого пояса.

Подводя итог, можно сказать, что на Южном Урале растительные зоны смещаются в сторону юга. Лесная зона проходит в горной части на двести километров южнее, чем на рядом прилегающих равнинах. Биоразнообразие растительности усиливается благодаря инверсиям температуры и мозаичностью горных пород.

Б.П. Колесников (1969) и Е.М. Фильрозе (1978) охарактеризовали антропогенные изменения растительности и выявили их преобладающие направления:

- а) последовательное сокращение площади коренных зональных типов растительности;
- б) относительное увеличение площади вторичных лиственных лесов;
- в) снижение продуктивности лесных почв в связи с развитием эрозий.

В связи с этим растительный покров нашего времени представляет собой производные группировки (Колесников, 1969).

Флора Среднего Урала также как и Южного имеет длительную историю формирования (таблица 3.4), которая началась с плиоцена, а неморальная растительность исчезала и появлялась вновь неоднократно (Турков, 1980).

Современная растительность представлена лесами: на западном склоне еловыми, на восточном светлохвойными, что связано с барьерной ролью гор. В качестве сопутствующих древесных растений в древостое повсеместно встречается береза и осина, а после сплошных рубок они становятся эдификаторами (Колесников и др., 1973).

Если рассмотреть лесорастительное районирование, то объекты исследований расположены в Западно-Сибирской равнинной области Зауральской холмисто-предгорной провинции, южно-таежный округ (Колесников, Зубарева, Смолоногов, 1973). Изучаемые леса относятся к защитным (Колесников, 1969) и имеют огромное значение для сохранения водных ресурсов и климатической обстановки. Подробную характеристику современных условно-коренных типов леса можно найти в приложении 4. Значительно в меньшей степени описана структура и типология березняков. Достаточно подробно их типы и структура приведены только в одной монографии (Луганский, Лысов, 1991). Наименее изученными остаются осиновые леса несмотря на их распространение в связи с рубками. Данным экосистемам посвящены только единичные исследования (Усольцев и др., 2018).

Таблица 3.4 – История формирования растительности Среднего Урала

Этап	Характеристика	Источник информации
Начало неогена	Богатейшая тургайская широколиственная флора и растительность полидоминантных листопадных лесов.	Турков, 1980
Второй период неогена (плиоцен)	Бореальная флора, хвойно-лесная растительность со значительной примесью неморальных видов.	Турков, 1980
Плейстоцен	Продолжительное миндельское, или окское, оледенение. Характерны все типичные особенности смешанного плейстоценового флористического комплекса: на фоне преобладания степных и полупустынных ксерофитов из семейства маревых, полыней и др. Отмечены бореальные виды (ель, сосна, береза пушистая, ольха серая, горец змеиный, некоторые злаки и разнообразные водные и прибрежные гигрофиты) и гипоарктические (карликовая береза, ольховник, плаунок).	Турков, 1980
Голоцен Фаза I	Фаза I соответствует типичной позднеледниковой стадии растительности (поздний дриас) с характерным для этого времени господством полынно-маревых группировок, кустарниковых берез и других элементов перигляциального комплекса.	Сукачѳв, Поплавская, 1946 Хотинский, 1977
Фаза II	Соответствует выделенной В.Н. Сукачевым елово-лиственничной стадии и охватывает весь предбореальный период (до 9500 лет назад). Из-за ухудшения климата, сопоставимого с переславским похолоданием, происходит резкое угнетение травянистой растительности. Во второй зоне данной фазы, связанной с половецким потеплением, происходит частичное восстановление позднеледникового растительного комплекса. В составе древостоев, занимавших подчиненное положение, преобладали лиственница, береза и ель.	Хотинский, 1977

Фаза III	Бореальный период – время господства сосново-березовых лесов, развивавшихся в условиях сравнительно прохладного и сухого климата. Почти полное отсутствие еловых лесов объяснялось сильной засоленностью почв. Полностью исчезли перигляциальные степные группировки.	Хотинский, 1977
Фазы IV и V	Граница датирована в разрезе Аятского болота в 6230 лет и связана с миграцией древесных пород. Атлантический период выделяется на Среднем Урале как климатический оптимум голоцена. Во второй половине периода максимально развивались еловые леса, а широколиственные породы достигли наиболее северных форпостов. Атлантико-суббореальная граница выделяется на уровне падения кривых пыльцы ильмовых и ели и датируется примерно в 4500 лет.	Хотинский, 1977
Фаза VI	Суббореальный и субатлантический периоды. В растительном покрове Среднего Урала за все это время не выявляется существенных изменений	Хотинский, 1977

Отличительной особенностью района исследований является его длительное лесохозяйственное использование, которое повлияло на современную растительность. В настоящее время в структуре лесного фонда преобладают производные леса различного возраста, большие площади заняты вырубками, гарями и молодняками различного состава и густоты. Лесовозобновление зависит от типа леса и лесорастительных условий. В некоторых случаях вырубки и гари сохраняются на долгое время. Особенно это характерно для богатых местообитаний, где способны произрастать высокопродуктивные древостои, но естественное лесовосстановление затруднено. В этих условиях часто необходимы лесные культуры. Но даже при успешном лесовосстановлении смена пород вызывает обеспокоенность (Колесников и др., 1973).

После пожаров и сплошных рубок происходит смена сосны на березу (реже осину), причем на свежих и более богатых почвах чаще формируются устойчиво- и длительно-производные березняки (и осинники). Наибольшая опасность потерять устойчивость имеют леса вблизи населенных пунктов, где они подвергаются всему комплексу антропогенных воздействий (Колесников, Зубарева, Смолоногов, 1973).

## **Глава 4. Исследование структуры и биоразнообразия условно-коренных лесов Южного и Среднего Урала**

### **4.1. Актуальность и задачи изучения биоразнообразия условно-коренных лесов**

Во всем мире проблема сохранения коренных зональных типов растительности признается актуальной в связи с прогрессирующей антропогенной нагрузкой на лесные комплексы (Дыренков, 1984; Maiti et al., 2016; Нешатаев, 2017). В России первым на необходимость решения данной проблемы указал С.А.Дыренков (1984). Однако, несмотря на признание важности сохранения коренных зональных типов растительности, площади коренных лесов продолжают сокращаться (Нешатаев, 2017), а прогрессирующее увеличение антропогенных воздействий обуславливает актуальность подобных исследований (Пугачевский, 1992). Поэтому, свои исследования мы начали с выявления и изучения биоразнообразия и структуры условно-коренных лесов.

Задачами наших исследований при изучении условно-коренных лесов являлись:

1. Исследовать факторы, детерминирующие биоразнообразие, видовую структуру и дифференциацию условно-коренных лесов Южного и Среднего Урала.
2. Дополнить схемы типов леса Е.М. Фильрозе (1983) для Южного Урала и кадастр типов леса, составленный Б.П. Колесниковым, Р.С. Зубаревой и Е.П. Смолоноговым (1973) для Среднего Урала, сведениями об экологическом пространстве типов леса, диагностических и доминирующих видах, структуре и продуктивности травяно-кустарничкового яруса, ранговых распределениях обилий видов растений.

#### 4.2. Лесотипологические особенности условно-коренных лесов западных низкогорий Южного Урала

Лесные участки от 120 до 200 лет мы относим к условно-коренным. За данный промежуток времени они не подвергались сильным деструктивным факторам (сплошные рубки, пожары, ветровалы). Сохранение таких лесов произошло на очень малой площади, поэтому они вызывают интерес для исследований.

Сложность истории формирования растительности на Южном Урале (отражена в главе 3.) и ландшафтная гетерогенность определяют современный облик условно-коренных фитоценозов. Леса Западных низкогорий Южного Урала сформировались на стыке двух групп лесной растительности:

1. Восточно-европейских липово-дубовых, дубовых и липовых лесов
2. Южно-таежных темнохвойных и широколиственно-темнохвойных подтаежных лесов.

В различных лесорастительных условиях взаимопроникновение видов разных флороценологических комплексов в лесные фитоценозы различно. Это способствует биоразнообразию типов леса и путей восстановительно-возрастной динамики.

Характеристика изученных лесорастительных условий и типов леса приведена в таблице 4.1. Всего изучено 9 наиболее распространенных типов леса. Главными лесообразующими видами являются ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.) и пихта сибирская (*Abies sibirica* Ledeb.). Береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.) также выступает обычным компонентом лесных фитоценозов, но условно-коренные древостои она образует только в устойчиво переувлажненных местообитаниях.

В верхнем высотном поясе в условиях крайне неустойчивого увлажнения произрастают ельники. Древесный ярус формирует *Picea obovata* Ledeb. В этих лесорастительных условиях *Abies sibirica* Ledeb. из-за контрастного температурного режима практически не встречается. Характерной особенностью подпологовой растительности является обилие *Polygonum alpinum* All. Доминантами травяно-кустарничкового яруса также являются *Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth, *Dryopteris filix-mas* (L.) Schott. Значительное обилие в этих условиях имеют *Athyrium filix-femina* (L.) Roth., *Dryopteris austriaca* (Jacq.) Wounar ex Schinz et Thell., *Rubus idaeus* L., *Majanthemum bifolium* (L.) F.W. Schmidt, *Rubus saxatilis* L., *Trientalis europaea* L. Экологическая характеристика на основе шкал Цыганова приведена на рисунке 4.1. Использованы два метода расчета: регрессионный (Бузук, Созинов, 2009) и по средним значениям. Примененные методы расчета дают близкие оценки для факторов переменности увлажнения и кислотности почв. Для термоклиматической шкалы, освещенности и трофности почв показатели, полученные методом

средних значений, значительно превышают значения, полученные методом регрессионного анализа.

Таблица 4.1 – Лесорастительные условия и основные условно-коренные типы леса западных низкогорий Южного Урала

Режим увлажнения	Положение в рельефе	Тип леса, шифр
Верхний высотный пояс (700–900 м над ур.м.). Бореальный флористический комплекс (Индекс 100). Класс А – дренированные участки.		
Крайне неустойчивый, периодически сухие	Крутые (круче 15 <sup>0</sup> ) и покатые (8–15 <sup>0</sup> ) южные каменистые склоны с каменистыми почвами малой мощности – до 20–30 см	Ельник альпийскогорцовый; Е ал. грц. – 110
Средний высотный пояс (500–700 м над ур.м.). Неморальный флористический комплекс (Индекс 200). Класс А – дренированные участки.		
Относительно устойчивый, свежие	Крутые каменистые и щебнистые северные склоны, покатые каменистые и щебнистые северные склоны, слабо покатые щебнистые южные склоны с почвами средней мощности (до 40–50 см)	Ельник крупнопороотниковый; Е кр. пр. – 220
		Ельник неморальный; Е нмр. – 220
Устойчивый, свежие	Покатые северные склоны, пологие плоские северные и южные склоны с мощными почвами (более 50 см)	Ельник крупнопороотниковый; Е кр. пр. – 230
		Ельник неморальный; Е нмр. – 230
Нижний высотный пояс (400–500 м над ур.м.). Бореальный флористический комплекс (Индекс 300). Класс А – дренированные участки		
Относительно устойчивый, свежие	Крутые каменистые и щебнистые северные склоны, покатые каменистые и щебнистые северные склоны, слабо покатые щебнистые южные склоны с почвами средней мощности (до 40–50 см)	Ельник мелкотравно-зеленомошный; Е мтр. зм. – 320
Устойчивый, свежие	Покатые северные склоны, пологие плоские северные и южные склоны с мощными почвами (более 50 см)	Ельник мелкотравно-зеленомошный; Е мтр. зм. – 330
Класс Б – слабо дренированные и заболоченные участки		
Периодически переувлажненные	Сырые склоны, почвы с признаками оглеения	Ельник хвощево-мшистый; Е хв. мш. – 340
Устойчиво переувлажненные	Мокрые склоны, лога, поймы и западины	Березняк осоково-сфагновый; Б ос. сф. – 350

Средний высотный пояс, благодаря температурным инверсиям, является наиболее теплым. Здесь произрастают темнохвойно-неморальные леса. Леса имеют сложную возрастную и пространственную структуру. Древесный ярус формирует *Picea obovata* Ledeb., *Abies sibirica* Ledeb., *Betula pubescens* Ehrh.. Во втором и третьем ярусах представлены *Tilia cordata* Mill., *Acer platanoides* L., *Ulmus glabra* Huds., *Quercus robur* L. Травянистый ярус отличается разнообразием, богатством видов, сочетанием таежных видов (*Majanthemum bifolium* (L.) F.W. Schmidt, *Oxalis acetosella* L., *Trientalis europaea* L. и др.) с видами неморального комплекса (*Ajuga reptans* L., *Asarum europaeum* L., *Asperula odorata* L., *Carex pilosa* Scop., *Digitalis*

*grandiflora* Mill., *Dryopteris filix-mas* (L.) Schott, *Pulmonaria obscura* Dumort., *Viola mirabilis* L.). Экологическая характеристика приведена на рисунке 4.2. Ельники крупнопапоротниковые на крутых каменистых склонах с почвами средней мощности и ельники крупнопапоротниковые на покатых и пологих склонах с мощными почвами имеют близкую экологическую характеристику. Различия заключаются, главным образом, в богатстве почвы азотом, особенно для значений полученных регрессионным методом. Также можно отметить различия в кислотности почв полученные методом регрессии, метод средних значений дает более близкие результаты. В целом наибольшие различия методы расчета дают для двух шкал: континентальности климата и богатства почв азотом.

Таблица 4.2 – Диагностические и доминирующие виды травяно-кустарничкового яруса условно-коренных темнохвойных лесов Южного Урала

Диагностические виды	Доминирующие виды
Ельник альпийскогорцовый	
<i>Polygonum alpinum</i> All.	<i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth, <i>Dryopteris filix-ma</i> (L.) Schotts, <i>Polygonum alpinum</i> All.
Ельник крупнопапоротниковый	
<i>Athyrium filix-femina</i> (L.) Roth, <i>Dryopteris filix-mas</i> (L.) Schotts, <i>Dryopteris austriaca</i> (Jacq.), <i>Asarum europaeum</i> L., <i>Asperula odorata</i> L., <i>Carex pilosa</i> Scop., <i>Digitalis grandiflora</i> . Mill.	<i>Athyrium filix-femina</i> (L.) Roth, <i>Dryopteris filix-ma</i> (L.) Schotts, <i>Dryopteris austriaca</i> (Jacq.), <i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth, <i>Rubus idaeus</i> L.
Ельник мелкотравно-зеленомошный	
<i>Vaccinium myrtillus</i> L., <i>Oxalis acetosella</i> L., <i>Lycopodium clavatum</i> L., <i>Lycopodium annotinum</i> L., <i>Pleurozium schreberi</i> (Brid.) Mitt., <i>Hylocomium splendens</i> (Hedw.) B. S. G.	<i>Lycopodium clavatum</i> , <i>Lycopodium annotinum</i> , <i>Equisetum sylvaticum</i> , <i>Ajuga reptans</i> L., <i>Oxalis acetosella</i> L., <i>Athyrium filix-femina</i> (L.) Roth, <i>Dryopteris expansa</i> (C. Presl) Fraser-Jenkins & Jermy, <i>Dryopteris carthusiana</i> (Vill.) H.P. Fuchs
Ельник хвощево-мшистый	
<i>Sphagnum</i> , <i>Equisetum sylvaticum</i> L., <i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim.	<i>Equisetum sylvaticum</i> L., <i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth, <i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim., <i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth

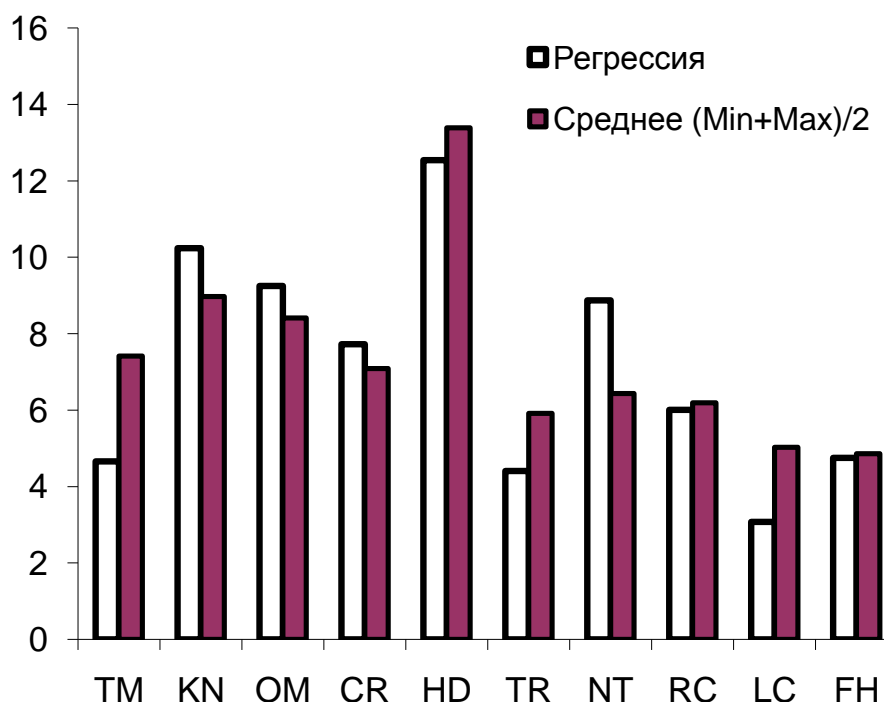


Рисунок 4.1 – Экологическая характеристика ельников альпийско-горцовых Южного Урала на основе двух методов расчета (регрессионным методом и по средним арифметическим значениям) по экологическим шкалам Цыганова: по оси ординат – балльные оценки, ТМ – термоклиматическая, KN – континентальность климата, OM – аридности-гумидности климата, CR – криоклиматическая, HD – увлажнения почв, TR – трофности почв, NT – богатства почв азотом, RC – кислотность почв, LC – освещенности-затенения, FH – переменности увлажнения

Пологие дренированные склоны нижнего высотного пояса являются наиболее широко представленной группой лесорастительных условий. Условно-коренным типом признаны ельники мелкотравно-зеленомошные. Для этого типа леса проведены наиболее детальные исследования. В древостое эдификаторами являются *Picea obovata* Ledeb. и *Abies sibirica* Ledeb., но их соотношения могут значительно различаться (Иванова, Андреев, Иванов, 1996). *Betula pubescens* Ehrh., как правило, постоянно присутствует в древостое и может достигать в составе до 20%. Встречаемость и обилие *Pinus sylvestris* L. связано с аperiодическими пожарами. Леса имеют сложную возрастную и пространственную структуру. Древостой многоярусный (3-4 яруса) ступенчато-разновозрастный с колебаниями возраста от 85-95 до 160-200 лет, а относительная полнота в большинстве исследованных лесов находится в пределах 0,7-1,0, в то время как запас всего древостоя может достигать 330 м<sup>3</sup>/га (Иванова, Андреев, Иванов, 1996; Андреев, 2005). В подлеске обычными являются такие виды как *Sorbus aucuparia* L., *Rubus idaeus* L., *Padus avium* Mill. Его проективное покрытие редко превышает пять процентов. На всех пробных площадях доминирует мелкотравно-зеленомошный покров из



*Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt., *Hylocomium splendens* (Hedw.) B. S. G., *Dicranum* sp. Среднее проективное покрытие мхов варьирует от  $50 \pm 5$  до  $80 \pm 9$  %, но всюду превышает суммарное проективное покрытие яруса трав и кустарничков, в ряде случаев в два и более раз. Проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса варьирует от двадцати до сорока процентов, а фитомасса, как правило, не превышает сорока грамм на квадратный метр в абсолютно сухом состоянии. Доминируют: *Lycopodium clavatum* L., *Lycopodium annotinum* L. Злаки: *Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth, *Melica nutans* L., *Milium effusum* L. и осоки: *Carex pilosa* Scop., *Carex rhizina* Blytt. ex Lindbl. и др., имеют незначительное проективное покрытие от  $2,5 \pm 1$  до  $5 \pm 2$  % и фитомассу от  $7 \pm 2,5$  до  $9 \pm 3$  г/м<sup>2</sup>.

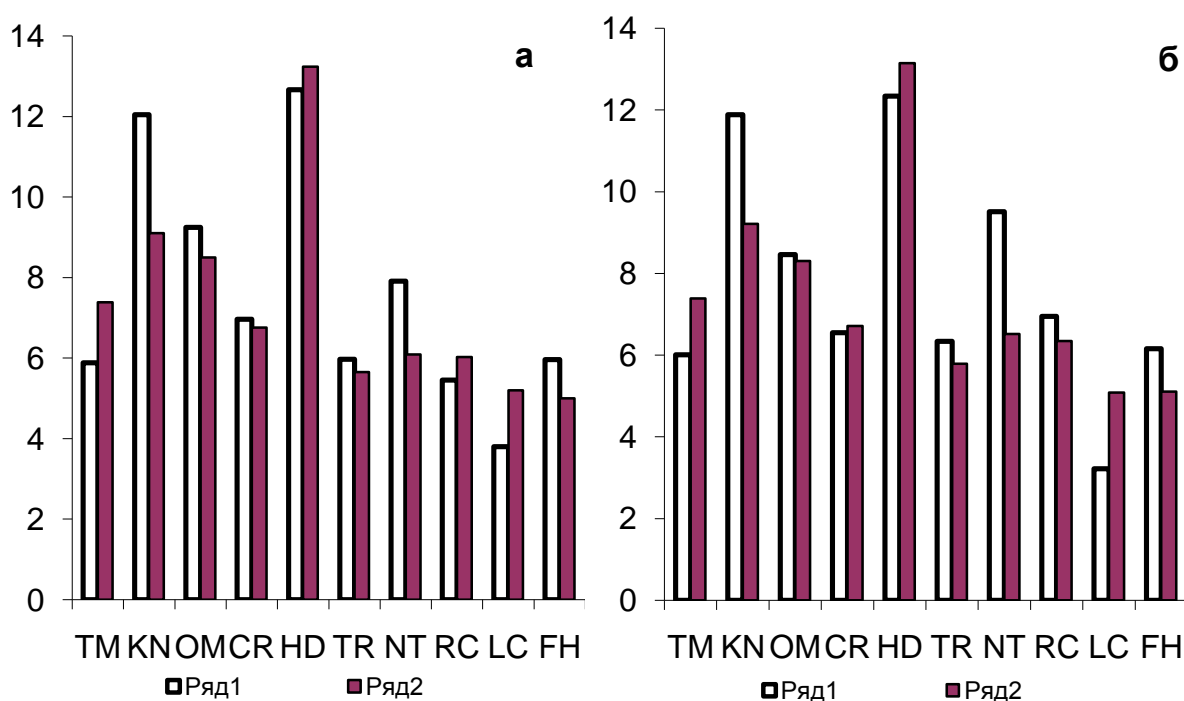


Рисунок 4.2 – Экологическая характеристика ельников крупнопоротниковых Южного Урала на основе двух методов расчета (регрессионным методом и по средним арифметическим значениям) на основе экологических шкал Цыганова: по оси ординат – бальные оценки, а – ельники крупнопоротниковые на крутых каменистых склонах с почвами средней мощности; б – ельники крупнопоротниковые на покатых и пологих склонах с мощными почвами; ряд 1 – значения получены методом регрессий; ряд 2 – по средним значениям; остальные обозначения те же

Экологическая характеристика ельников мелкотравно-зеленомошных западных низкогорий Южного Урала приведена на рисунке 4.3. Для шкал KN, CR и NT регрессионный

метод дает более высокие значения по сравнению с методом расчета по средним значениям. Для шкал TR, TM, LC и RC – более низкие.

Всего под пологом субкоренных ельников насчитывается 23-60 видов травянистых растений. Из неморальных видов отмечены: *Ajuga reptans* L., *Asarum europaeum* L., *Asperula odorata* L., *Carex pilosa* Scop., *Digitalis grandiflora* Mill., *Dryopteris filix-mas* (L.) Schott, *Pulmonaria obscura* Dumort., *Viola mirabilis* L. Однако, их участие в структуре яруса резко различается.

Наиболее наглядно демонстрируют структуру фитомассы ранговые распределения. В современной экологии принято считать, что ранговые распределения являются фундаментальным законом и важным способом отображения структуры сообществ (Пузаченко, 2016). Таким образом, исследование распределения обилия видов (species abundance distributions (SAD)) может выступать основой для выявления особенностей структурной организации фитоценозов (Пузаченко, 2016).

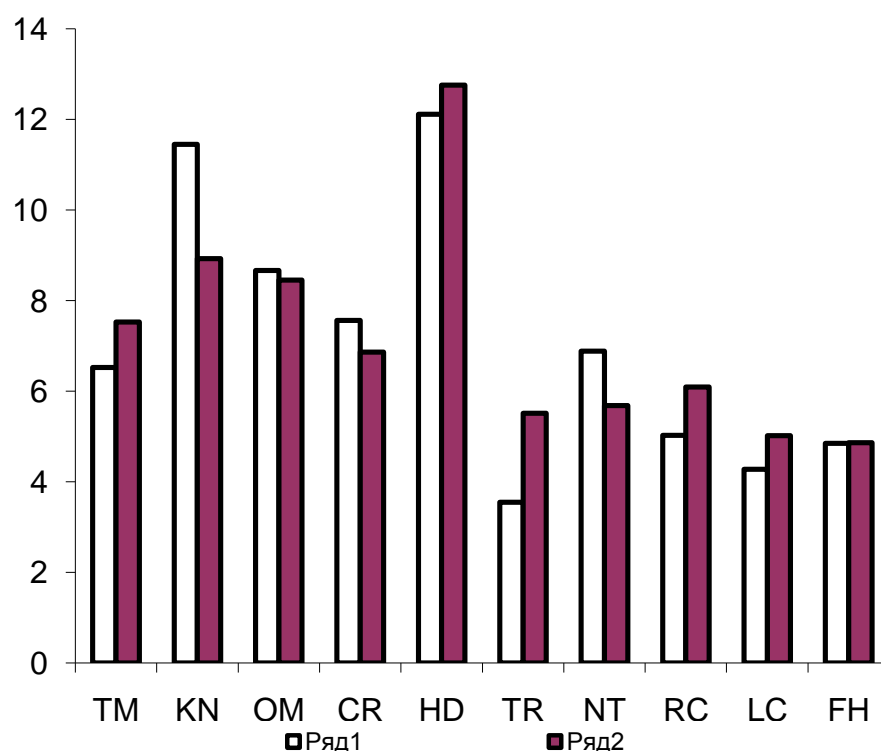


Рисунок 4.3 – Экологическая характеристика ельников мелкотравно-зеленомошных Южного Урала на основе двух методов расчета (регрессионным методом и по средним арифметическим значениям) на основе экологических шкал Цыганова: по оси ординат – балльные оценки, ряд 1 – значения получены методом регрессий; ряд 2 – по средним значениям; остальные обозначения

те же

Ранговое распределение фитомассы видов травяно-кустарничкового яруса приведено на рисунке 4.4. На рисунке хорошо выделяются две области:

1. Зона достаточно обильных видов, фитомасса которых быстро убывает с увеличением ранга (до 14-18 ранга). Это виды коренных ельников мелкотравно-зеленомошных. Можно предположить, что эта область является эталоном рангового распределения для коренных ельников мелкотравно-зеленомошных западных низкогорий Южного Урала.
2. Область редких видов. Начинается с резкого падения участия вида в фитомассе яруса. Это случайно занесенные виды. Протяженность области может свидетельствовать о степени нарушенности коренного леса.

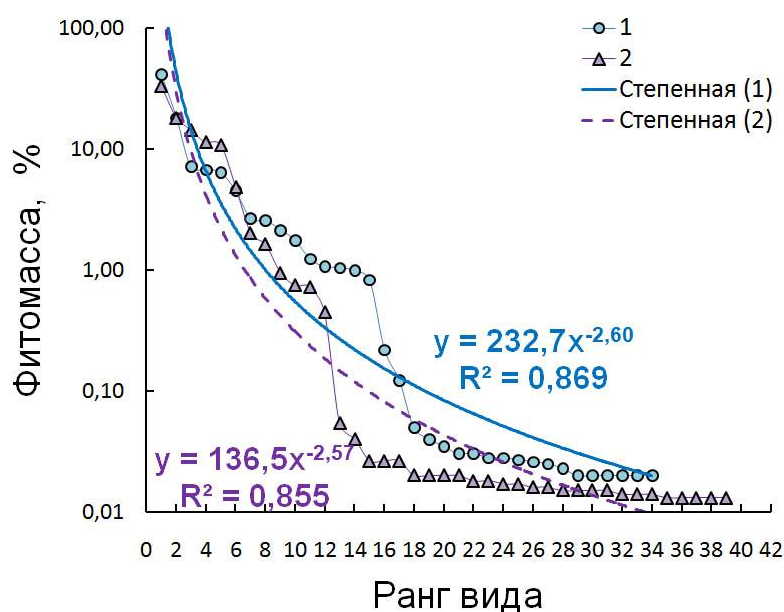


Рисунок 4.4 – Ранговое распределение фитомассы видов травяно-кустарничкового яруса в ельниках мелкотравно-зеленомошных Южного Урала: 1 – ельник 160-летнего возраста, 2 – ельник 140-летнего возраста

### 4.3. Лесотипологические особенности условно-коренных лесов Зауральской холмисто-предгорной провинции Среднего Урала

#### 4.3.1. Особенности типов лесорастительных условий и биоразнообразия типов леса

Для исследуемого региона кадастр типов леса включает 21 тип (Колесников и др., 1973). Нами найдены и исследованы 12 наиболее распространенных из них (таблица 4.4). Характеристика почв изученных типов леса приведена в приложении 5. Из таблицы 4.4 видно, что биоразнообразие лесов зависит от лесорастительных условий. В благоприятных условиях увлажнения почвогрунтов отмечается наибольшее количество типов леса. Минимальное биоразнообразие лесов зафиксировано в экстремальных условиях при недостаточном и избыточном увлажнении.

Таблица 4.4 – Изученные лесорастительные условия и основные условно-коренные типы леса Зауральской холмисто-предгорной провинции по Б.П. Колесникову и др. (1973)

Режим увлажнения	Положение в рельефе, индекс экотопа	Тип леса, шифр
<b>Дренированные местообитания</b>		
периодически сухие	вершины и верхние половины склонов возвышенностей, 321	сосняк брусничниковый; С бр.
устойчиво свежие	вершины спокойных возвышенностей, пологие склоны, реже надпойменные террасы, 331	сосняк ягодниковый; С яг.
	верхние части придолинных склонов и вершины невысоких холмов, 332	сосняк ягодниково-липняковый, С яг. лп.
	придолинные склоны со щебнем горных пород, 333	ельник-сосняк зеленомошниково-ягодниковый; Е-С зл. яг.
	средние и нижние части пологих склонов, 334	сосняк орляковый; С орл.
	невысокие водораздельные возвышенности, реже нижние части склонов к небольшим логам, 335	сосняк травяно-липняковый; С тр. лп.
свежие, периодически влажные	ровные слегка приподнятые участки водоразделов, пологие склоны, 341	сосняк разнотравный; С ртр.
	слегка приподнятые участки ровных водоразделов и депрессий, 342	сосняк с темной хвойным ярусом мшисто-черничниковый; С-Тх мш. чер.
	дренированные нижние части придолинных склонов, невысокие плоские межболотные гривы, 343	ельник травяно-зеленомошниковый, Е тр. зм.
<b>Слабо дренированные и заболоченные местообитания</b>		
влажные, периодически сырые	дренированные шлейфы придолинных склонов, 361	сосняк-ельник разнотравно-высокотравный, С-Е втр.
	плоские гривы среди болот и слабо дренированных междуречий, окраины болотных массивов, 363	ельник-кедровник хвощево-мшистый, Е-К хв. мш.
устойчиво-сырые	слабо дренированные участки водоразделов, окраины болот, шлейфы пологих склонов, 371	сосняк сфагново-хвощовый, С сф.хв.

Специальные исследования проведены для выявления особенностей видовой насыщенности (рисунок 4.7), проективного покрытия (рисунок 4.8) и продуктивности (рисунок 4.9) травяно-кустарничкового яруса. Рисунки 4.8 – 4.9 иллюстрируют результаты дисперсионного анализа (ANOVA), который подтвердил нашу гипотезу о том, что тип леса является статистически значимым фактором для видовой насыщенности ( $F(12, 91)=14,670$ ,  $p=0,00000$ ), проективного покрытия ( $F(12, 91)=11,513$ ,  $p=0,00000$ ) и фитомассы ( $F(12, 87)=7,8711$ ,  $p=0,00000$ ). Парные сравнения между типами леса по этим показателям проведены на основе HSD-теста. Его результаты отражены в приложениях 6-8. В следующих разделах рассмотрены выявленные особенности более подробно.

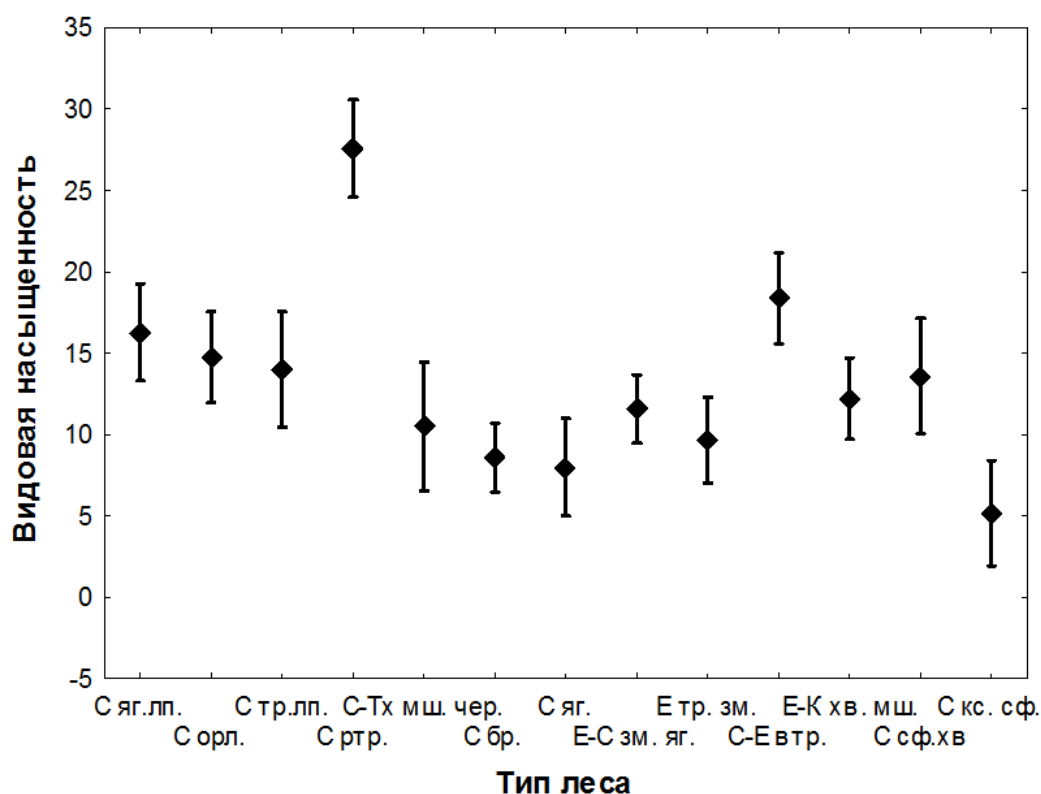


Рисунок 4.7 – Видовая насыщенность (на 1 м<sup>2</sup>) травяно-кустарничкового яруса исследованных условно-коренных лесов Среднего Урала

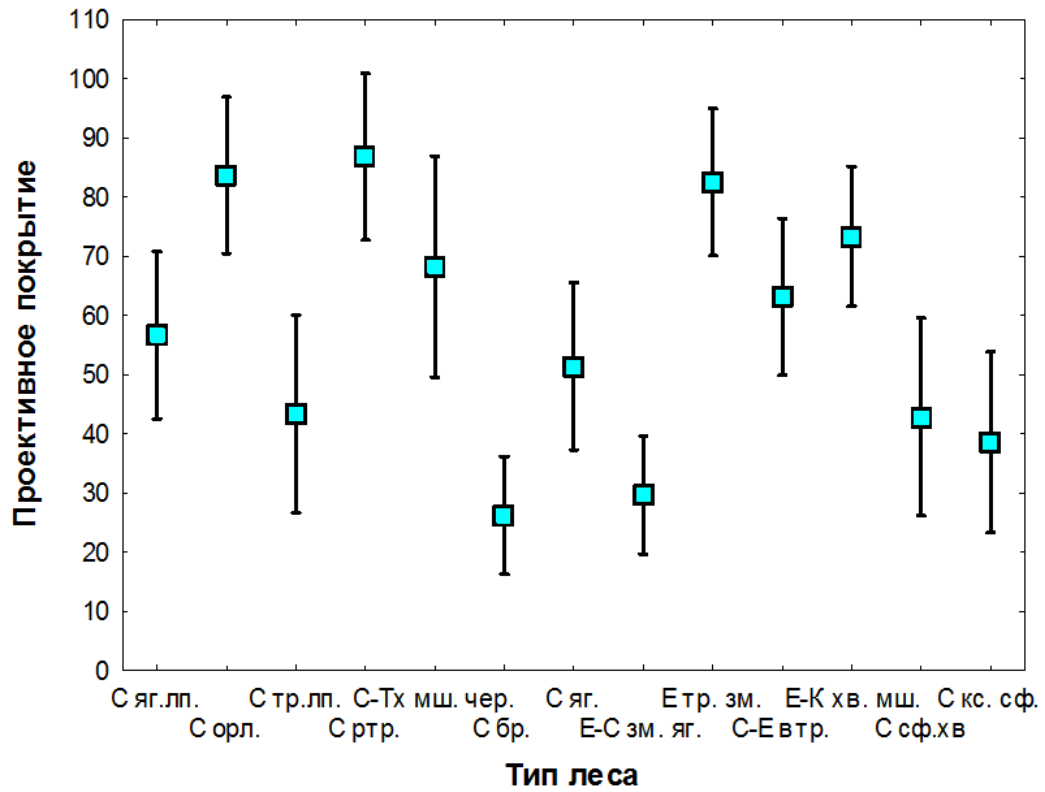


Рисунок 4.8 – Проективное покрытие (%) травяно-кустарничкового яруса исследованных условно-коренных лесов Среднего Урала

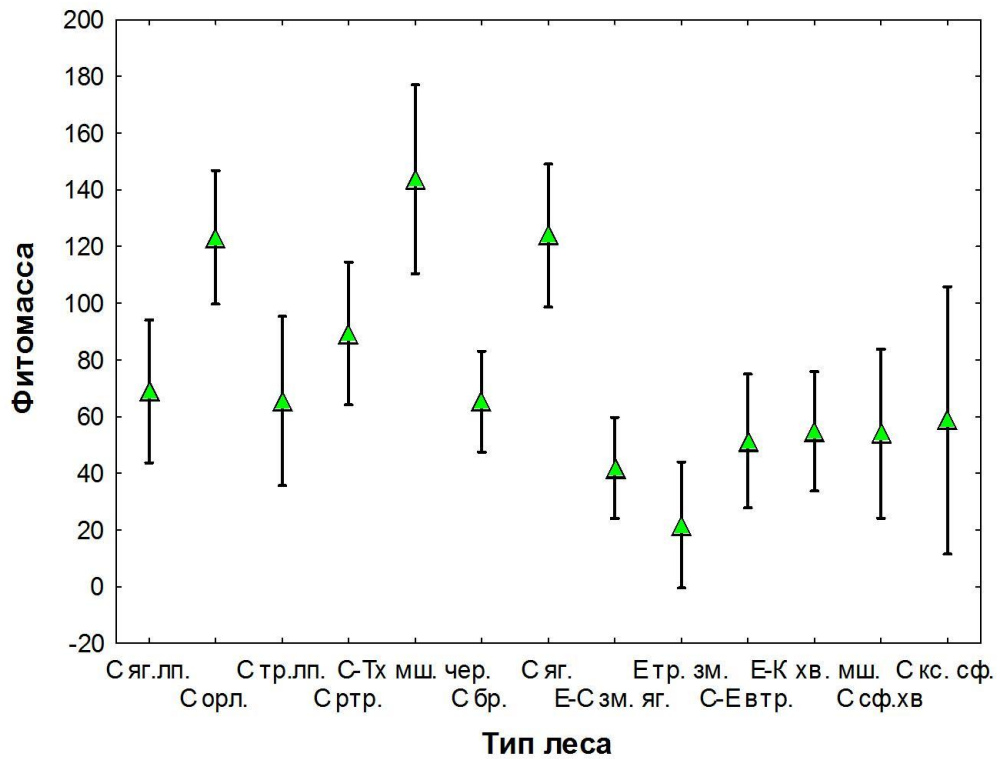


Рисунок 4.9 – Фитомасса (г/м<sup>2</sup> в абсолютно-сухом состоянии) травяно-кустарничкового яруса исследованных условно-коренных лесов Среднего Урала

#### 4.3.2. Особенности условно-коренных лесов периодически сухих местообитаний

Данные условия являются экстремальными для лесной растительности в связи с недостаточностью и неустойчивостью увлажнения почв. Нами проведено полное описание морфологии почв, которое приведено в приложении 5. К нему следует добавить, что выходы горных пород на поверхность почвы очень характерны для данных условий. Химические свойства почв получены Е.С. Золотовой, с ними можно ознакомиться в совместных публикациях (Иванова, Золотова, 2013; Золотова, Иванова, 2013; Иванова и др., 2013).

Экологическая характеристика сосняков брусничниковых приведена на рисунке 4.10. Для большинства шкал (ТМ, HD, TR, NT, RC, LC, FH) – регрессионный метод дает более низкие значения баллов, чем метод средних значений. Наибольшие различия выявлены для шкал LC и RC. Минимальные различия между баллами, полученными различными методами, выявлены для CR и OM шкал.

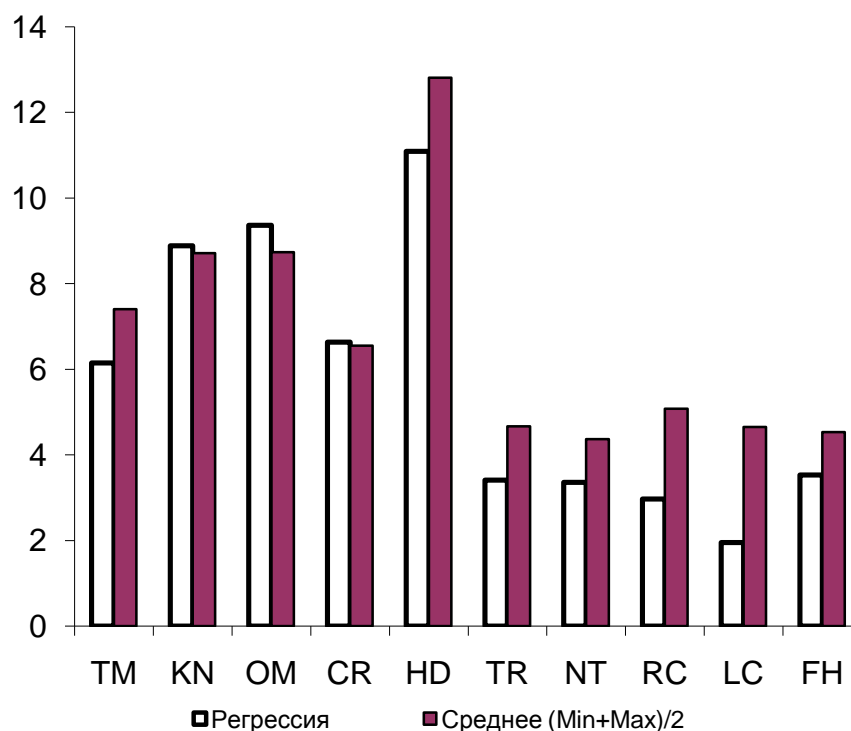


Рисунок 4.10 – Экологическая характеристика сосняков брусничниковых Среднего Урала на основе двух методов расчета (регрессионным методом и по средним арифметическим значениям) на основе экологических шкал Цыганова: по оси ординат – балльные оценки, обозначения те же

Таблица 4.5 – Древетой условно-коренных южно-таежных лесов Зауральской холмисто-предгорной провинции периодически сухих и устойчиво свежих местообитаний Среднего Урала

Древесный вид	Возраст, лет	Доля в составе	Абсолютная полнота, м <sup>2</sup> /га	Средняя высота, м	Средний диаметр на 1.3 м, см
Сосняк брусничниковый					
<i>Pinus sylvestris</i> L.	160	10	44	24	36,5
<i>Betula pubescens</i> Ehrh., <i>B. pendula</i> Roth	120	+	1,5	23,5	31,8
Сосняк ягодниковый					
<i>Pinus sylvestris</i> L.	160	9	35,7	24,3	40,9
<i>Larix sibirica</i> Ledeb.	160	1	2	27,5	48,4
<i>Betula pubescens</i> Ehrh., <i>B. pendula</i> Roth	100	+	0.3	20	21,4
Сосняк ягодниково-липняковый					
<i>Pinus sylvestris</i> L.	140	10	30	25,5	35,2
<i>Betula pubescens</i> Ehrh., <i>B. pendula</i> Roth	120	+	1	20	22,2
<i>Tilia cordata</i> Mill.	-	+	0,5	10	9,5
Ельник-сосняк зеленомошниково-ягодниковый					
<i>Pinus sylvestris</i> L.	115	8	28,5	24,8	34,3
<i>Picea obovata</i> Ledeb.	80	+	2	19	32
<i>Larix sibirica</i> Ledeb.	150	1	4	26,1	39,3
<i>Betula pubescens</i> Ehrh., <i>B. pendula</i> Roth	115	1	3	25	23,8
Сосняк орляковый					
<i>Pinus sylvestris</i> L.	160	10	45,4	29	39,4
<i>Picea obovata</i> Ledeb.	55	+	0,3	5	5
<i>Betula pubescens</i> Ehrh., <i>B. pendula</i> Roth	55	+	0,4	8,9	12
<i>Tilia cordata</i> Mill.	55	+	0,3	13,7	13,5
Сосняк травяно-липняковый					
<i>Pinus sylvestris</i> L.	160	7	25.5	28.3	49.2
<i>Picea obovata</i> Ledeb.	55	+	0,6	13	15,3
<i>Abies sibirica</i> Ledeb.	55	+	0,8	11	10,9
<i>Larix sibirica</i> Ledeb.	200	1	4,3	32,6	73,7
<i>Betula pubescens</i> Ehrh., <i>B. pendula</i> Roth	120	1	3,9	26,8	36,7
<i>Tilia cordata</i> Mill.	55	1	2	15,5	15,9

Древесный ярус сосняков брусничниковых представлен сосной обыкновенной. Береза встречается единично (таблица 4.5). Травяно-кустарничковый ярус можно охарактеризовать как разреженный с низким биоразнообразием (рисунки 4.7 – 4.8). Диагностические и доминирующие виды приведены в таблице 4.6. В этом типе леса отмечены минимальные значения видовой насыщенности и проективного покрытия. Статистически достоверные различия по показателю видовой насыщенности зафиксированы с сосняками ягодниково-липняковыми, орляковыми, разнотравными и высокотравными (приложение 6), по показателю



проективного покрытия, кроме вышеперечисленных, статистически достоверны различия также с сосняками с темнохвойным ярусом, ельниками травяно-зеленомошниковыми, ельниками-кедровниками хвощево-мшистыми (приложение 7). Однако по фитомассе травяно-кустарничкового яруса различия достоверны только с 3 типами леса (приложение 8).

Таблица 4.6 – Диагностические и доминирующие виды травяно-кустарничкового яруса условно-коренных лесов дренированных местообитаний Зауральской холмисто-предгорной провинции

Диагностические виды	Доминирующие виды
Сосняк брусничниковый	
<i>Antennaria dioica</i> (L.) Gaertn., <i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.	<i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth, <i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.
Сосняк ягодниковый	
<i>Vaccinium myrtillus</i> L., <i>Rubus saxatilis</i> , <i>Fragaria vesca</i> L.	<i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth, <i>Vaccinium myrtillus</i> L., <i>Rubus saxatilis</i> L.
Сосняк ягодниково-липняковый	
<i>Tilia cordata</i> Mill., <i>Vaccinium myrtillus</i> L., <i>Vaccinium vitis-idaea</i> L., <i>Lathyrus vernus</i> (L.) Bernh., <i>Carex digitata</i> L., <i>Rubus saxatilis</i> L., <i>Brachypodium pinnatum</i> (L.) Beauv.	<i>Vaccinium myrtillus</i> L., <i>Vaccinium vitis-idaea</i> L., <i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth
Ельник-сосняк зеленомошниково-ягодниковый	
<i>Vaccinium myrtillus</i> L., <i>Oxalis acetosella</i> L., <i>Rubus saxatilis</i> L.	<i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth, <i>Vaccinium myrtillus</i> L., <i>Rubus saxatilis</i> L., <i>Oxalis acetosella</i> L.
Сосняк орляковый	
<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn	<i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth, <i>Brachypodium pinnatum</i> (L.) Beauv., <i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn
Сосняк травяно-липняковый	
<i>Tilia cordata</i> Mill., <i>Lathyrus vernus</i> (L.) Bernh., <i>Aegopodium podagraria</i> L.	<i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth, <i>Aegopodium podagraria</i> , <i>Lathyrus vernus</i> (L.) Bernh.
Сосняк разнотравный	
<i>Aegopodium podagraria</i> L., <i>Heracleum sibiricum</i> L., <i>Lathyrus vernus</i> (L.) Bernh., <i>Viola mirabilis</i>	<i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth, <i>Brachypodium pinnatum</i> (L.) Beauv., <i>Rubus saxatilis</i> L.
Сосняк с темнохвойным ярусом мшисто-черничниковый	
<i>Vaccinium myrtillus</i> L., <i>Pleurozium schreberi</i> (Brid.) Mitt., <i>Sphagnum</i>	<i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth, <i>Vaccinium myrtillus</i> L.
Ельник травяно-зеленомошниковый	
<i>Oxalis acetosella</i> L., <i>Asarum europaeum</i> L., <i>Gymnocarpium dryopteris</i> (L.) Newm.	<i>Oxalis acetosella</i> L., <i>Asarum europaeum</i> L.

Ранговое распределение фитомассы видов травяно-кустарничкового яруса (рисунок 4.11) соответствует закону Ципра и хорошо аппроксимируется степенной функцией ( $R^2=0.95$ ), что свидетельствует о логарифмической зависимости фитомассы видов от ресурса (Левич, 1980). Также как и для условно-коренных лесов Южного Урала мы выявили резкое снижение фитомассы в зоне очень редких видов. Вероятно, это разделяет виды коренных лесов и случайные виды, внедрившиеся в структуру фитоценоза.

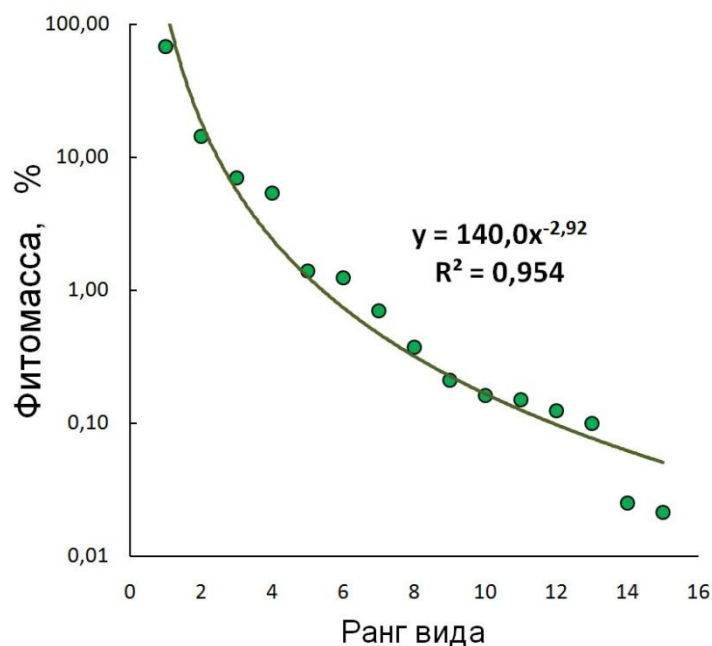
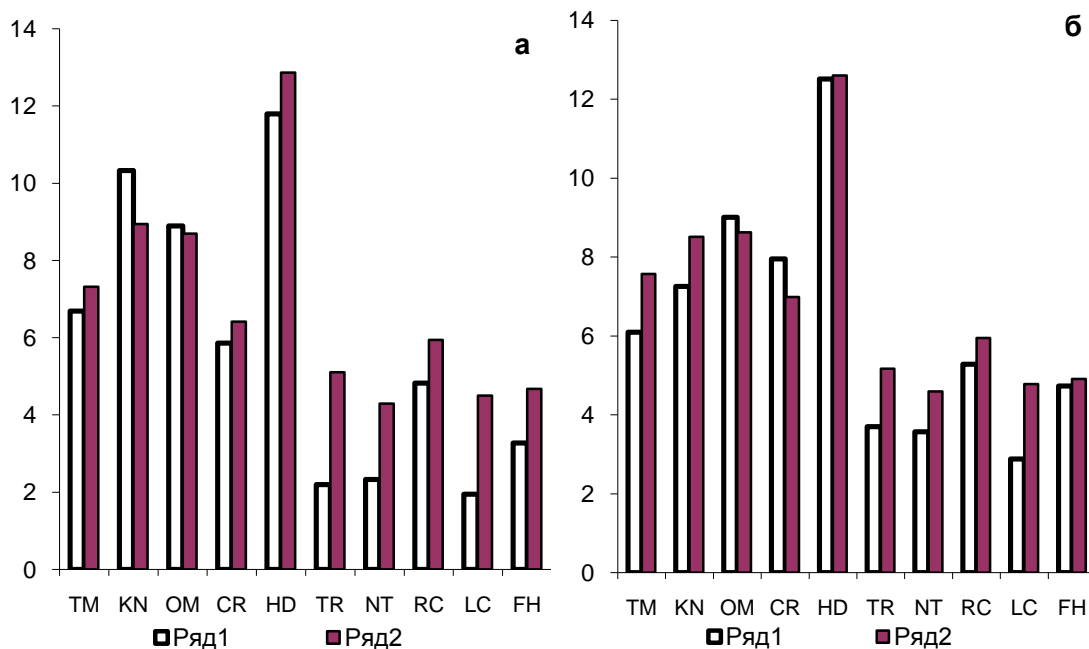


Рисунок 4.11 – Ранговое распределение фитомассы видов травяно-кустарничкового яруса в сосняках брусничниковых 160-летнего возраста Среднего Урала

### 4.3.3. Особенности условно-коренных лесов устойчиво свежих местообитаний

В генетической лесной типологии используется закономерность, которая заключается в увеличении мощности почв при продвижении вниз по склону. При этом улучшаются не только эдафические условия, но и становится более благоприятным режим увлажнения. Все это приводит к росту разнообразия как на видовом, так и на типологическом уровне (таблица 4.4, рисунок 4.7). Причем видовое разнообразие увеличивается как в травяно-кустарничковом ярусе (рисунок 4.7), так и в древостое (таблица 4.5). Описание морфологии почв приведено в приложении 5. Химические и физические свойства почв для данных условий детально проанализированы ранее (Иванова, Золотова, 2011; Золотова, Иванова, 2013). Здесь отметим только, что количество макроэлементов быстро убывает с увеличением глубины взятия образца.

Экологическая характеристика приведена на рисунке 4.12. Различия между балльными оценками, полученными различными методами наибольшие для сосняков ягодниковых, которые имеют небольшое видовое разнообразие. Такая разница в оценках свидетельствует об особенности: увеличение видового разнообразия снижает разницу в оценках, полученных различными методами и, вероятно, повышает точность определения.



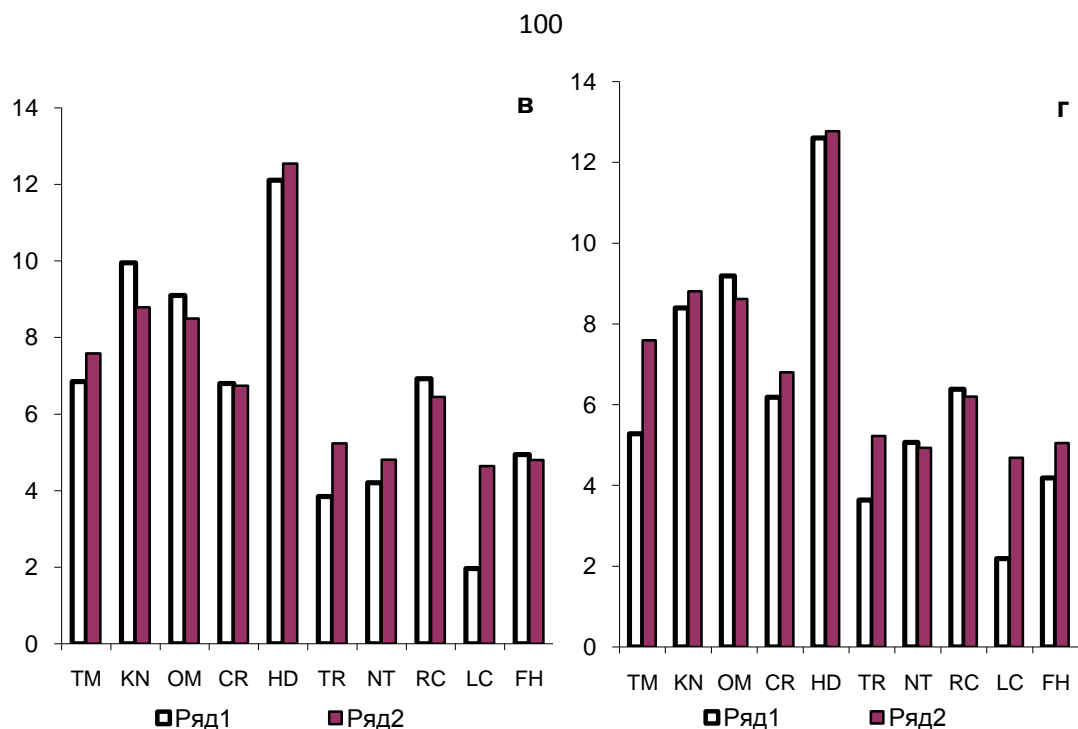


Рисунок 4.12 – Экологическая характеристика сосняков ягодниковых (а) и сосняков ягодниково-липняковых (б), ельников-сосняков зеленомошниково-ягодниковых (в), сосняков орляковых (г) Среднего Урала на основе двух методов расчета (регрессионным методом (ряд 1) и по средним арифметическим значениям (ряд 2)) на основе экологических шкал Цыганова: по оси ординат – бальные оценки, обозначения те же

Появление новых генераций подростка древесных растений связано с аperiодическими пожарами и носит уже не регулярный характер (как в брусничниковых лесах), а импульсный. Подрост чаще одновозрастный, а его наличие маркирует давность пожара.

Если рассмотреть мезоклиматические особенности исследованных лесов, то можно отметить, что в средних частях склонов температурный режим благоприятный для растительности. Это связано с температурными инверсиями. Несмотря на небольшой перепад высот, данная закономерность находит отражение в структуре лесного фитоценоза. Здесь повсеместно отмечается густой подрост липы. Часто этот древесный вид формирует разреженный второй ярус древостоя. Подпологовая растительность имеет и другие особенности, в том числе присутствие большего количества неморальных видов, увеличение плотности травяного покрова (рисунок 4.8) и его альфа-разнообразия (рисунок 4.7). А достаточное обилие сныти обыкновенной указывает на хорошие эдафические условия. Однако синузильная структура не выражена.

Нами установлено, что сосняки ягодниковые имеют более выраженные отличия от других исследованных типов леса по фитомассе травяно-кустарничкового яруса, сосняки ягодниково-липняковые по видовой насыщенности, ельники-сосняки зеленомошников-

ягодниковые по проективному покрытию, сосняки орляковые по проективному покрытию и фитомассе, а сосняки травяно-липняковые мало отличаются от других исследованных лесов по всем этим показателям (приложения 6-8)

Ранговые распределения фитомассы видов трав приведены на рисунках 4.13-4.15. Все полученные ранговые распределения аппроксимированы степенной функцией. Для сосняков ягодниково-липняковых (рисунок 4.10) и травяно-липняковых (рисунок 4.12) выявлено наибольшее соответствие закону Ципра. Ранговые распределения фитомассы для сосняков ягодниковых, орляковых и ельников-сосняков зеленомошниково-ягодниковых отклоняются от распределения Ципра как в средней части, так и в зоне редких видов. Вывод о наличии резкого падения фитомассы в зоне редких видов сохраняется и для условно-коренных лесов этих лесорастительных условий.

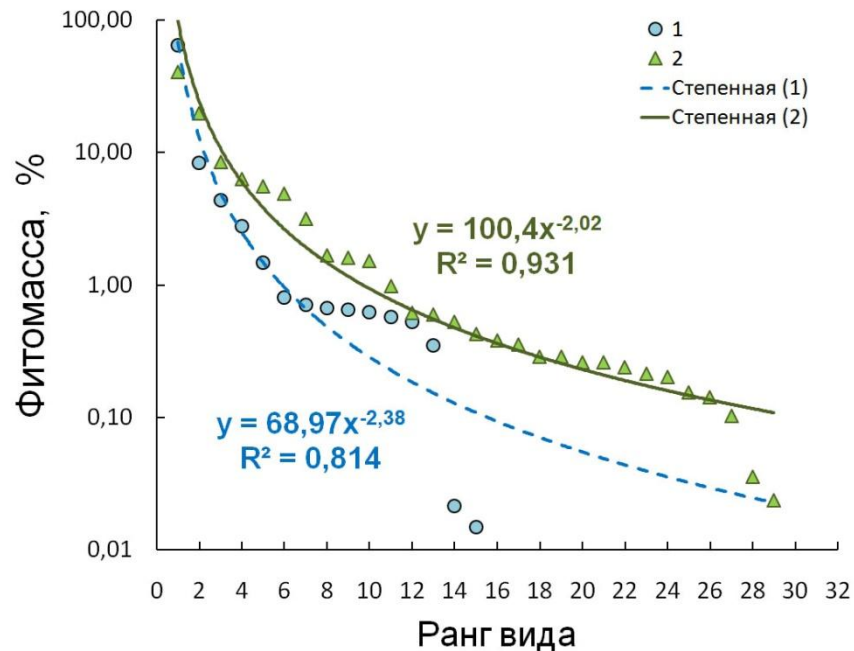


Рисунок 4.13 – Ранговое распределение фитомассы видов травяно-кустарничкового яруса в сосняках ягодниковых 160-летнего возраста (1) и сосняках ягодниково-липняковых 140-летнего возраста (2) Среднего Урала

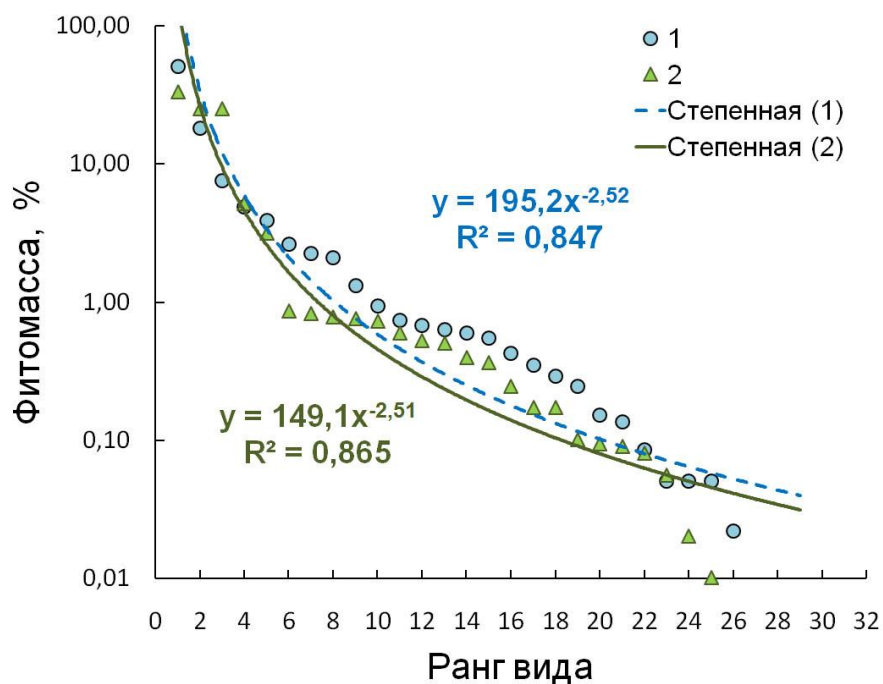


Рисунок 4.14 – Ранговое распределение фитомассы видов травяно-кустарничкового яруса в ельниках-сосняках зеленомошниково-ягодниковых 115-летнего возраста (1) и сосняков орляковых 160-летнего возраста (2) Среднего Урала

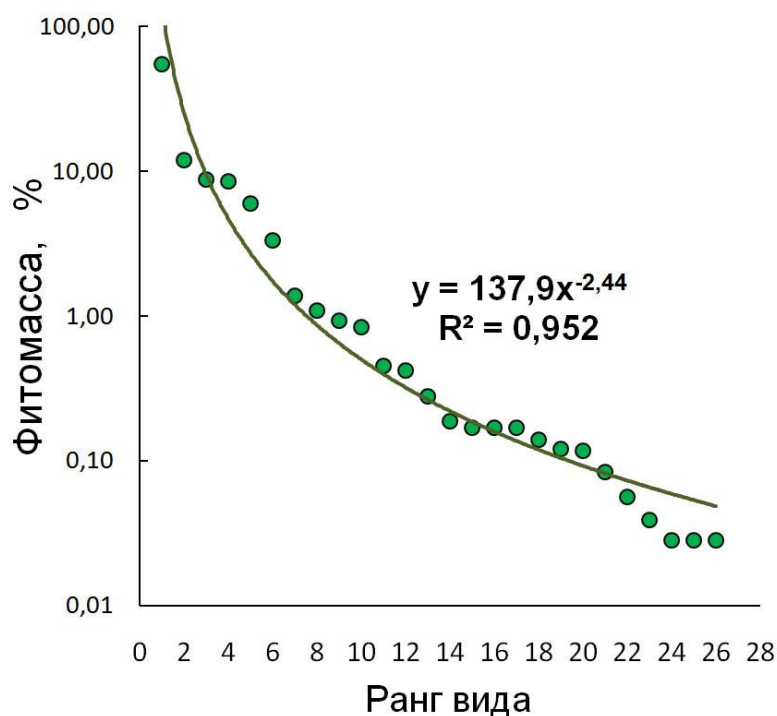


Рисунок 4.15 – Ранговое распределение фитомассы видов травяно-кустарничкового яруса в сосняках травяно-липняковых 160-летнего возраста Среднего Урала

#### 4.3.4. Особенности условно-коренных лесов свежих, периодически влажных местообитаний

Для этих лесорастительных условий характерны мощные плодородные почвы, в которых присутствует тяжелосуглинистый горизонт (приложение 5). Данная особенность приводит к избыточному увлажнению в весенний период и определяет особенности структуры фитоценозов. Распространенные в этих условиях типы леса приведены в таблице 4.4, а структура древостоя в таблице 4.7, подчиненных ярусов на рисунках 4.7-4.8. Экологическая характеристика – на рисунке 4.16.

Сосняки разнотравные отличает повышенное альфа-разнообразие. Здесь на одном квадратном метре можно встретит более 30 видов трав и кустарничков. Это максимальные показатели по сравнению с другими типами леса. Данный тип леса также лидирует и по средним показателям видовой насыщенности, которая составляет 28 видов на 1 квадратный метр. По данному показателю различия статистически достоверны со всеми изученными типами леса (приложение 6). Однако по фитомассе травяно-кустарничкового яруса статистически достоверные различия установлены только с ельниками травяно-зеленомошниковыми (приложение 8). Особенностью этого типа леса является также обилие, наряду с видами мелкотравья (такими как ожига волосистая, звездчатка жестколистная, фиалка удивительная и др.) сныти обыкновенной, дудника лесного, борщевика сибирского, чины весенней, бодяга разнолистного и др.

Таблица 4.7 – Древостой условно-коренных южно-таежных лесов Зауральской холмисто-предгорной провинции свежих, периодически влажных и влажных, периодически сырых местообитаний Среднего Урала

Древесный вид	Возраст, лет	Доля в составе	Абсолютная полнота, м <sup>2</sup> /га	Средняя высота, м	Средний диаметр на 1.3 м, см
Сосняк разнотравный					
<i>Pinus sylvestris</i> L.	150	9	35,5	28,9	42,4
<i>Picea obovata</i> Ledeb.	80	+	0,25	10	9,5
<i>Betula pubescens</i> Ehrh., <i>B. pendula</i> Roth	120	1	6,5	26,9	32,5
Сосняк с темнохвойным ярусом мшисто-черничниковый					
<i>Pinus sylvestris</i> L.	160	9	38,7	26,8	35,6
<i>Larix sibirica</i> Ledeb.	200	1	1	31,5	45,7
<i>Betula pubescens</i> Ehrh., <i>B. pendula</i> Roth	120	+	3	25	29,9
Ельник травяно-зеленомошниковый					
<i>Picea obovata</i> Ledeb.	190	7	16,9	29,5	25,5
<i>Betula pubescens</i> Ehrh., <i>B. pendula</i> Roth	120	3	9,3	26	21,3

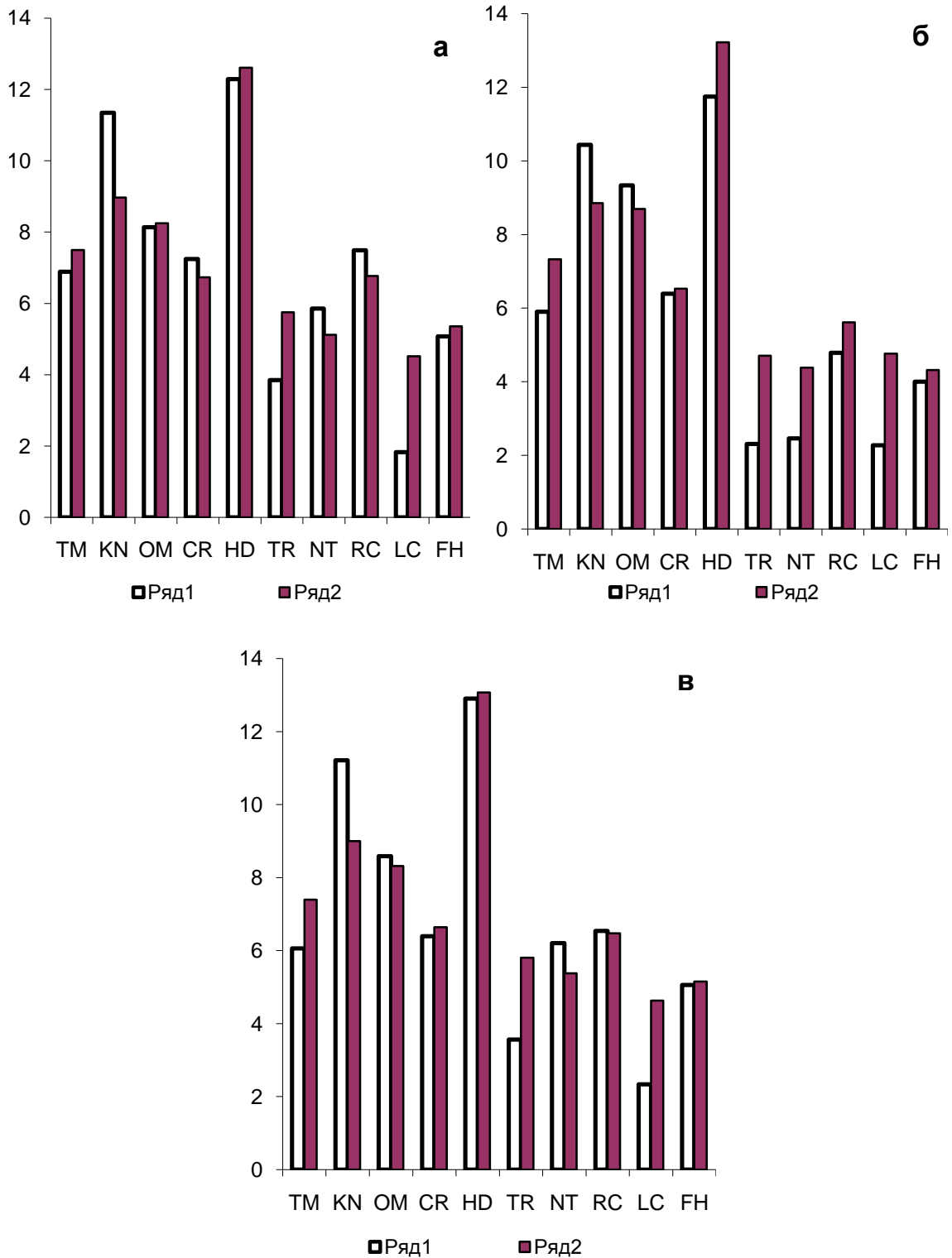


Рисунок 4.16 – Экологическая характеристика сосняков разнотравных (а) и сосняков с темнохвойным ярусом мшисто-черничниковых (б), ельников травяно-зеленомошниковых (в) Среднего Урала на основе двух методов расчета (регрессионным методом (ряд 1) и по средним арифметическим значениям (ряд 2)) на основе экологических шкал Цыганова: по оси ординат – балльные оценки, обозначения те же



Ельники травяно-зеленомошниковые отличает четко выраженная синузильная структура. В этом типе выделяется две группы синузиль: под сомкнутым пологом древостоя и в окнах полога. Под пологом древостоя доминирует таежное мелкотравье. Для окон полога характерен хорошо развитый высокотравно-разнотравный ярус. Под сомкнутым пологом древостоя обильна кислица обыкновенная и распространены такие неморальные виды как копытень европейский, фиалка удивительная. В окнах полога древостоя встречаются также бор развесистый, чина весенняя, звездчатка жестколистная, вороний глаз четырехлистный, перловник поникший. Обычными являются бодяг разнолистный и таволга вязолистная.

Ранговые распределения фитомассы как для сосняков разнотравных, так и ельников травяно-зеленомошниковых хорошо соответствуют закону Ципра в зоне видов с высокой фитомассой, но отклоняются от него как в средней части, так и в зоне редких видов (Рисунок 4.14).

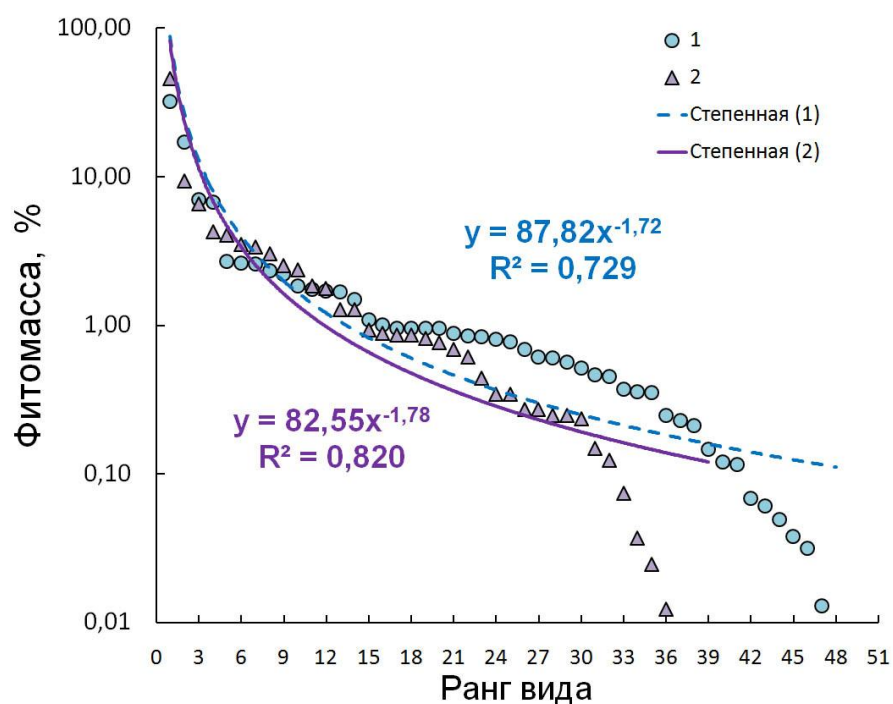


Рисунок 4.17 – Ранговое распределение фитомассы видов травяно-кустарничкового яруса в сосняках разнотравных 150-летнего возраста (1) и ельниках травяно-зеленомошниковых 190-летнего возраста (2) Среднего Урала

Сосняки с темнохвойным ярусом мшисто-черничниковые отличаются от других типов леса данных условий хорошо развитым моховым покровом. Наличие густого подроста ели сибирской ограничивает распространение светолюбивых растений. Обычным видом является черника. Этот тип леса является очень чувствительным к пожарам, которые приводят к гибели молодых деревьев. Восстановление происходит медленно и зависит от наличия источника семян. Ель, как правило, условно-одновозрастная. Преобладает послепожарное поколение, а

возраст ели соответствует давности пожара. Наибольшие отличия от других типов леса зафиксированы по показателю фитомассы (приложение 8).

Ранговое распределение фитомассы видов травяно-кустарничкового яруса на всем протяжении хорошо соответствует закону Ципра (рисунок 4.15). Практически все точки ложатся на теоретическую линию.

Таким образом, в данном экотопе типы леса резко отличаются друг от друга по структуре, как древостоя, так и подпологовой растительности.

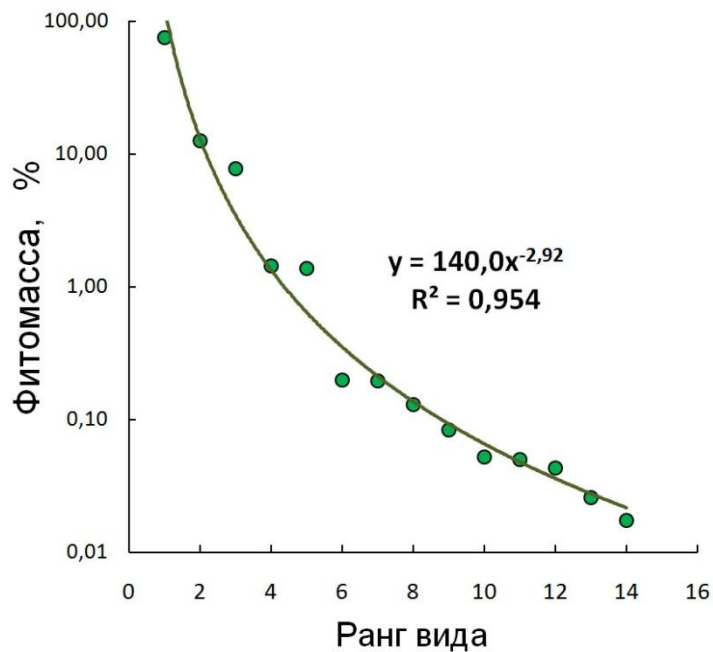


Рисунок 4.18 – Ранговое распределение фитомассы видов травяно-кустарничкового яруса в сосняках с темнохвойным ярусом мшисто-черничниковых 160-летнего возраста Среднего Урала

#### 4.3.5. Особенности условно-коренных лесов слабо дренированных и заболоченных местообитаний

Перечень типов леса приведен в таблице 4.4. Эти лесорастительные условия больше соответствуют темнохвойным лесам. Однако древесный ярус богат видами. Здесь наряду с елью сибирской присутствует и сосна обыкновенная, береза пушистая, осина, а во втором ярусе ольха черная. В подлеске обычна черемуха. Особенности структуры и видового состава приведены на рисунках 4.7-4.9 и в таблицах 4.8 и 4.9. Наибольшее видовое разнообразие характерно для сосняков-ельников разнотравно-высокотравных. Здесь, совместно с видами таежного мелкотравья, произрастают таволга вязолистная, дудник лесной, бодяг огородный, аконит высокий. По данному показателю выявлены наибольшие различия с другими исследованными типами леса (приложение 6).

В Ельниках-кедровниках хвощево-мшистых и сосняках сфагново-хвощовых доминируют в подчиненных ярусах хвощ лесной и различные сфагнумы. В окнах полога древостоя, как правило, формируются синузии с доминированием таволги вязолистной.

Таблица 4.8 – Древостой условно-коренных южно-таежных лесов Зауральской холмисто-предгорной провинции слабо дренированных и заболоченных местообитаний Среднего Урала

Древесный вид	Возраст, лет	Доля в составе	Абсолютная полнота, м <sup>2</sup> /га	Средняя высота, м	Средний диаметр на 1.3 м, см
Сосняк-Ельник разнотравно-высокотравный					
<i>Pinus sylvestris</i> L.	165	3	9,5	26,7	54,0
<i>Picea obovata</i> Ledeb.	170	4	15,3	23,6	37,3
<i>Abies sibirica</i> Ledeb.	90	+	1,3	26,5	45,0
<i>Betula pubescens</i> Ehrh., <i>B. pendula</i> Roth	120	2	1,8	20,1	24,0
<i>Populus tremula</i> L.	120	0,5	0,5	21,0	36,0
<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn.	-	0,5	0,5	19	22,7
Ельник-Кедровник хвощево-мшистый					
<i>Picea obovata</i> Ledeb.	220	10	44	21,8	25,8
<i>Betula pubescens</i> Ehrh., <i>B. pendula</i> Roth	100	+	3,5	17,3	19,4
Сосняк сфагново-хвощевый					
<i>Pinus sylvestris</i> L.	140	7	24	24	40
<i>Picea obovata</i> Ledeb.	60	+	0,75	4,8	4,8
<i>Betula pubescens</i> Ehrh., <i>B. pendula</i> Roth	100	3	10,5	21,7	19,8
<i>Populus tremula</i> L.	100	+	0,25	23	22,3

Экологическая характеристика типов леса приведена на рисунке 4.19. Для ельников-кедровников хвощево-мшистых оба метода расчета дают очень близкие значения для KN, OM,

CR, NT и HD шкал. Наибольшие различия в зависимости от метода расчета получены для TR и LC шкал. Причем классический метод дает более высокие показатели. Для сосняков сфагново-хвощевых отклонения в баллах, обусловленные методом расчета, выражены несколько сильнее, чем для ельников-кедровников хвоцево-мшистых. Наибольшие различия выявлены для KN, HD шкал и также как у ельников-кедровников хвоцево-мшистых для LC шкалы.

Таблица 4.9 – Диагностические и доминирующие виды травяно-кустарничкового яруса условно-коренных лесов слабодренированных и заболоченных местообитаний Зауральской холмисто-предгорной провинции

Диагностические виды	Доминирующие виды
Сосняк-ельник разнотравно-высокотравный	
<i>Angelica sylvestris</i> L., <i>Circaea alpine</i> L., <i>Cirsium oleraceum</i> (L.) Scop., <i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim., <i>Aconitum septentrionale</i> Koelle, <i>Gymnocarpium dryopteris</i> (L.) Newm.	<i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth, <i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim., <i>Equisetum sylvaticum</i> L., <i>Rubus saxatilis</i> L., <i>Aconitum septentrionale</i> Koelle
Ельник-кедровник хвоцево-мшистый	
<i>Equisetum sylvaticum</i> L., <i>Sphagnum</i>	<i>Equisetum sylvaticum</i> L., <i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim.
Сосняк сфагново-хвощевый	
<i>Equisetum sylvaticum</i> L., <i>Sphagnum</i>	<i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth, <i>Equisetum sylvaticum</i> L., <i>Sphagnum</i>

Анализ ранговых распределений показал, что степенная функция применима только для сосняков-ельников разнотравно-высокотравных ( $r^2=0.975$ ). Распределение фитомассы видов хорошо соответствуют закону Ципра (рисунок 4.20). Для ельников-кедровников хвоцево-мшистых и сосняков сфагново-хвощевых значительно лучшую аппроксимацию для рангового распределения фитомассы трав дает экспоненциальная функция (рисунки 4.20 и 4.21), что соответствует модели распределения Гиббса или Мотомуры. Установлено, что эта модель распределения реализуется при линейной зависимости состояния системы от ресурса (Whittaker, 1962, 1975; Шитиков и др., 2011).

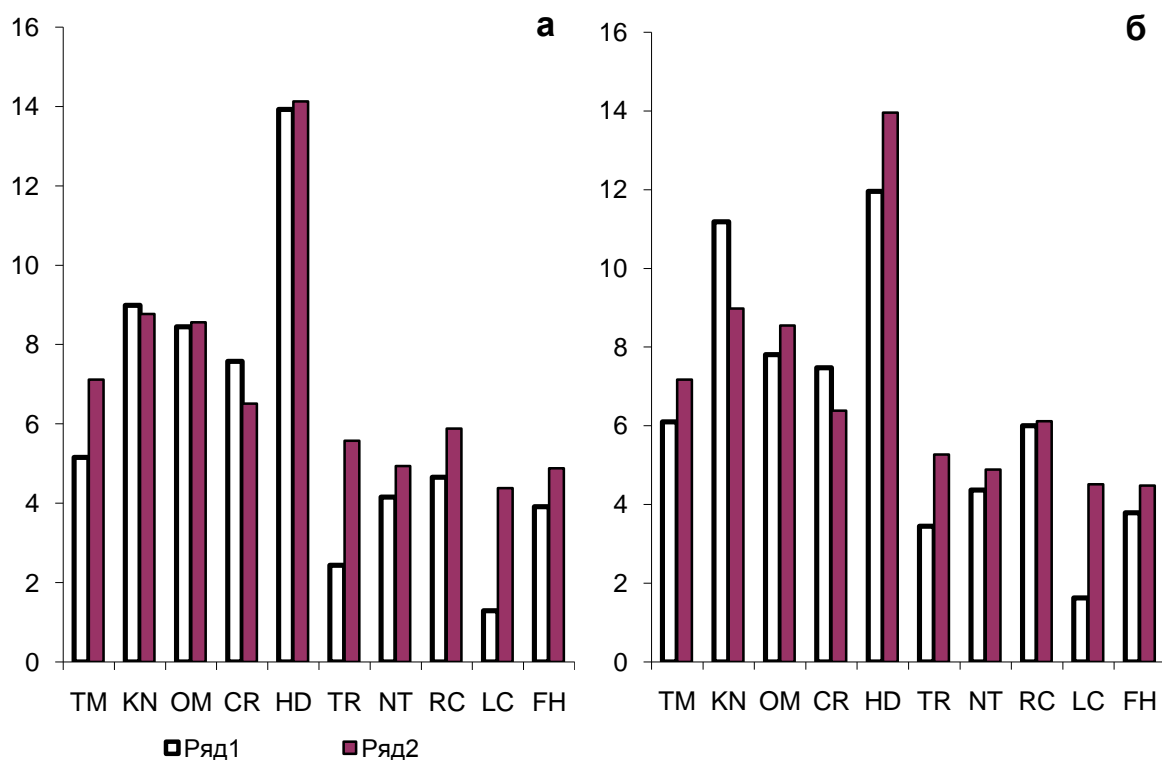


Рисунок 4.19 – Экологическая характеристика ельников-кедровников хвощево-мшистых (а) и сосняков сфагново-хвощевых (б) Среднего Урала на основе двух методов расчета (регрессионным методом (ряд 1) и по средним арифметическим значениям (ряд 2)) на основе экологических шкал Цыганова: по оси ординат – балльные оценки, обозначения те же

Степень аппроксимирующей функции рангового распределения может служить интегральной количественной мерой биоразнообразия фитоценоза. На основе этого показателя мы получили ранги фитоценозов (таблице 4.10). Ряд начинается с сосняков-ельников разнотравно-высокотравных, за которыми следуют сосняки разнотравные. Они характеризуются высоким альфа-разнообразием. Замыкают ряд сосняки брусничниковые и сосняки с темной хвойным ярусом мшисто-черничниковые: фитоценозы с наименьшим биоразнообразием.

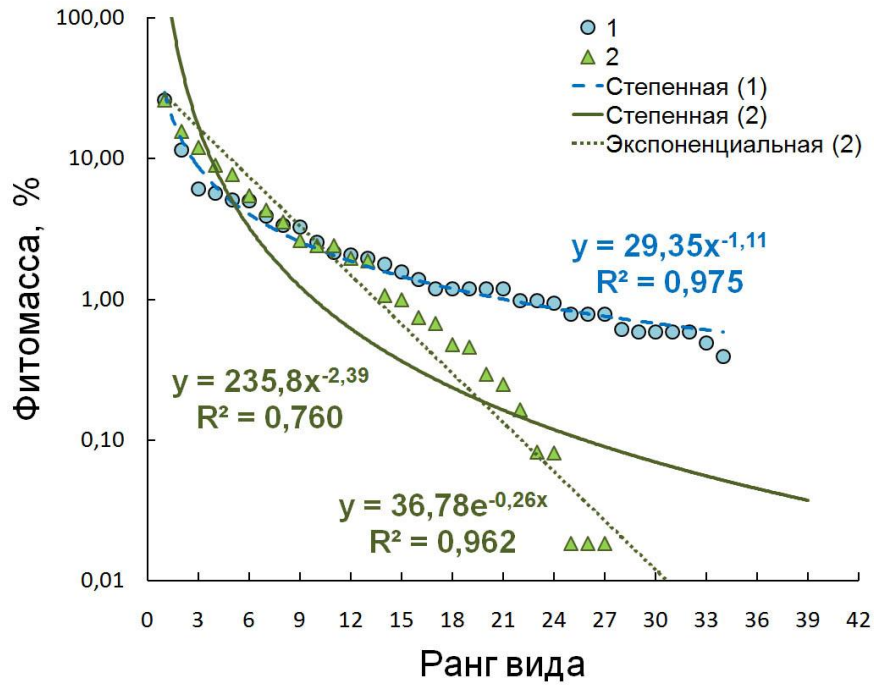


Рисунок 4.20 – Ранговое распределение фитомассы трав в сосняках-ельниках разнотравно-высокотравных 170-летнего возраста (1) и ельниках-кедровниках хвощево-мшистых 220-летнего возраста (2) Среднего Урала

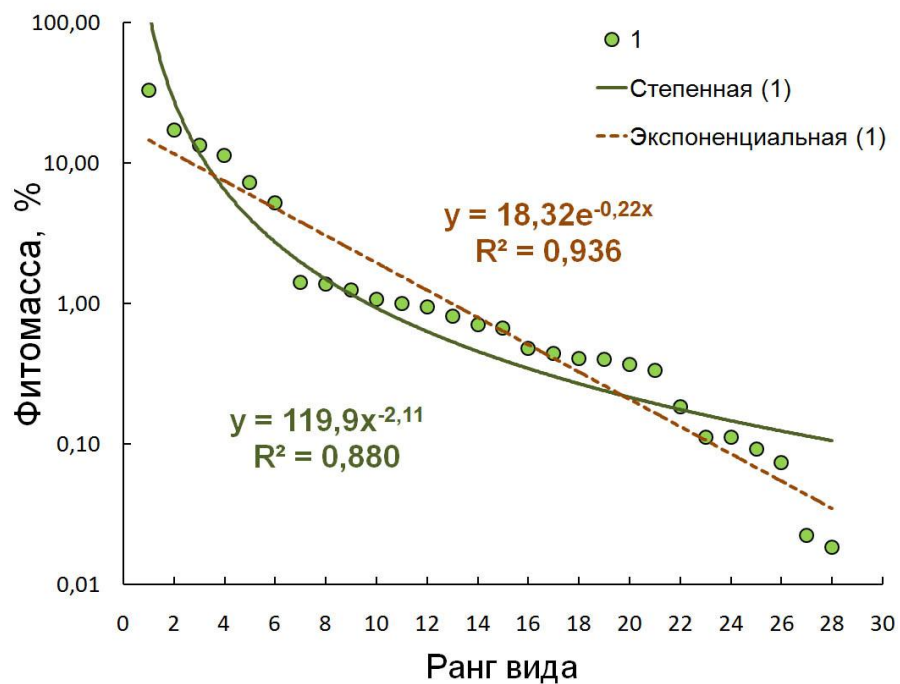


Рисунок 4.21 – Ранговое распределение фитомассы видов трав в сосняке сфагново-хвощевом 140 летнего возраста Среднего Урала

Таблица 4.10 – Ранг лесов по уровню альфа-разнообразия (на основе значения степени аппроксимирующей степенной функции)

Ранг	Тип леса	Значения степени аппроксимирующей функции
1	Сосняк-ельник разнотравно-высокотравный	-1,11
2	Сосняк разнотравный	-1,72
3	Ельник травяно-зеленомошниковый	-1,78
4	Сосняк ягодниково-липняковый	-2,02
5	Сосняк сфагново-хвощовый	-2,11
6	Сосняк ягодниковый	-2,38
7	Ельник-кедровник хвощево-мшистый	-2,39
8	Сосняк травяно-липняковый	-2,44
9	Сосняк орляковый	-2,51
10	Ельник-сосняк зеленомошниково-ягодниковый	-2,52
11	Сосняк брусничниковый	-2,92
12	Сосняк с темнохвойным ярусом мшисто-черничниковый	-2,92

#### 4.4. Построение и анализ ординационных диаграмм условно-коренных лесов Южного и Среднего Урала

Ординационные диаграммы имеют огромное преимущество перед другими методами представления результатов своей наглядностью и комплексном взгляде на проблему. Для объектов исследований, расположенных на Южном Урале установлено, что на ординационной диаграмме хорошо выделяются леса различных высотных поясов (рисунок 4.22). Точки на рисунке соответствуют пробным площадям. Они соединены линиями с центрами скоплений, которые отмечены номерами, соответствующие типу леса. Сам анализ выполнен на основе продуктивности. Фитомасса общепризнанно считается строго количественным признаком, с минимальной долей субъективности в оценке, так как ее определение строго регламентировано методикой. Поэтому такой анализ структуры лесов позволяет считать полученные выводы достоверными. Из рисунка хорошо видно, что устойчивый и относительно-устойчивый режимы увлажнения внутри высотного пояса по растительности диагностировать методом DCA не удастся. Тем не менее, эти условия значимо различаются при планировании лесного хозяйства. В генетической типологии они принадлежат к различным группам. Причиной этому является их различия в почвозащитных свойствах. Леса на мелких щебнистых почвах имеют большое противоэрозионное значение. Поэтому, несмотря на общность видового состава по природоохранным функциям значимость типов леса несколько различается.

Проанализировано влияния климатических и эдафических факторов. Векторы наиболее значимых факторов нанесены на DCA-диаграмму (рисунок 4.23). Связь факторов с осями DCA приведены в таблице 4.11. Отображенные на рисунке векторы, показывают действие различных факторов. Большинство значимых факторов скоррелировано с первой осью DCA. Такими являются: HD – увлажнение почв; TM – термоклиматический (выявлена положительную зависимость), TR – трофность почв и FH – переменность увлажнения (отрицательную связь). Из данных результатов можно сделать вывод, что бета-разнообразие в горах Южного Урала в большей степени обусловлено значительным перепадом высот над уровнем моря. Градиент высот приводит к градиенту климатических факторов (в первую очередь температуры) и вызывает градиент других факторов, что сказывается на структуре фитоценозов.



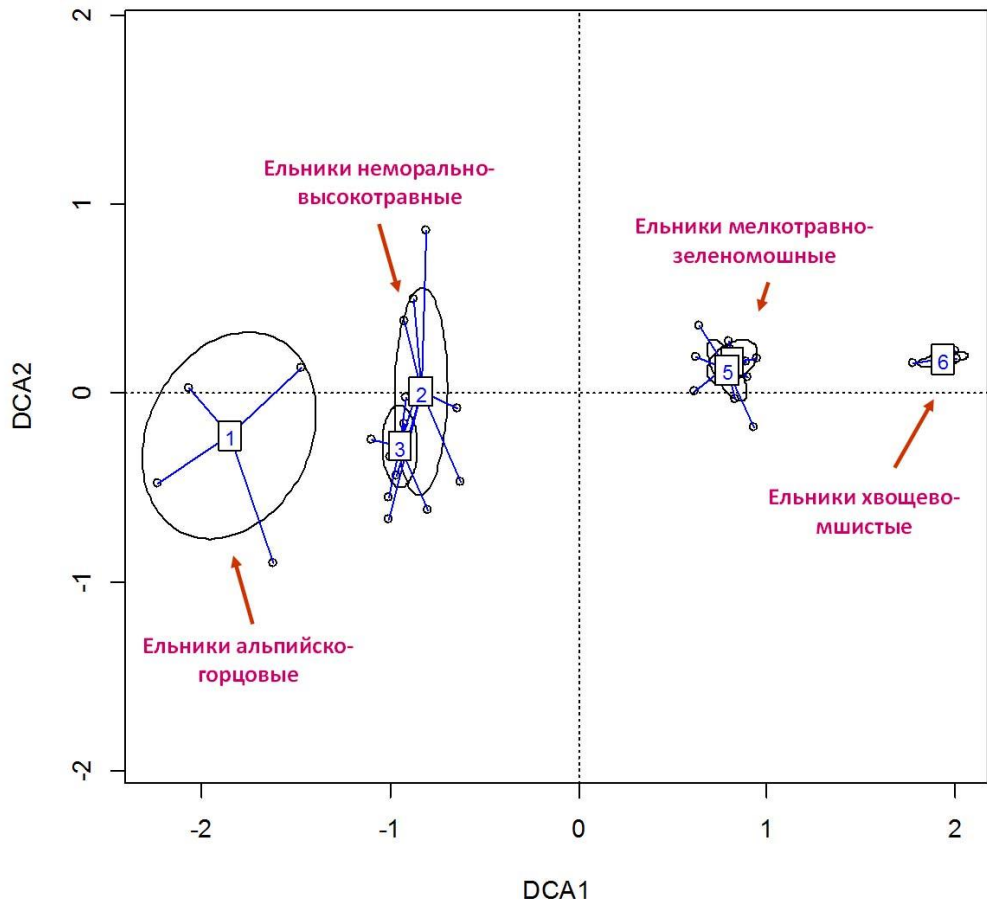


Рисунок 4.22 – DCA-ординация условно-коренных лесов западных низкогорий Южного Урала: цифры – номера типов леса: 1 – верхний высотный пояс (Е ал. грц.); 2 – средний высотный пояс, относительно устойчивый режим увлажнения (Е нмр. втр.); 3 – средний высотный пояс, устойчивый режим увлажнения (Е нмр.); 4 – нижний высотный пояс, относительно устойчивый режим увлажнения (Е мтр. зм.); 5 – нижний высотный пояс, устойчивый режим увлажнения (Е мтр. зм.); 6 – нижний высотный пояс, периодическое переувлажнение (Е хв. мш.)

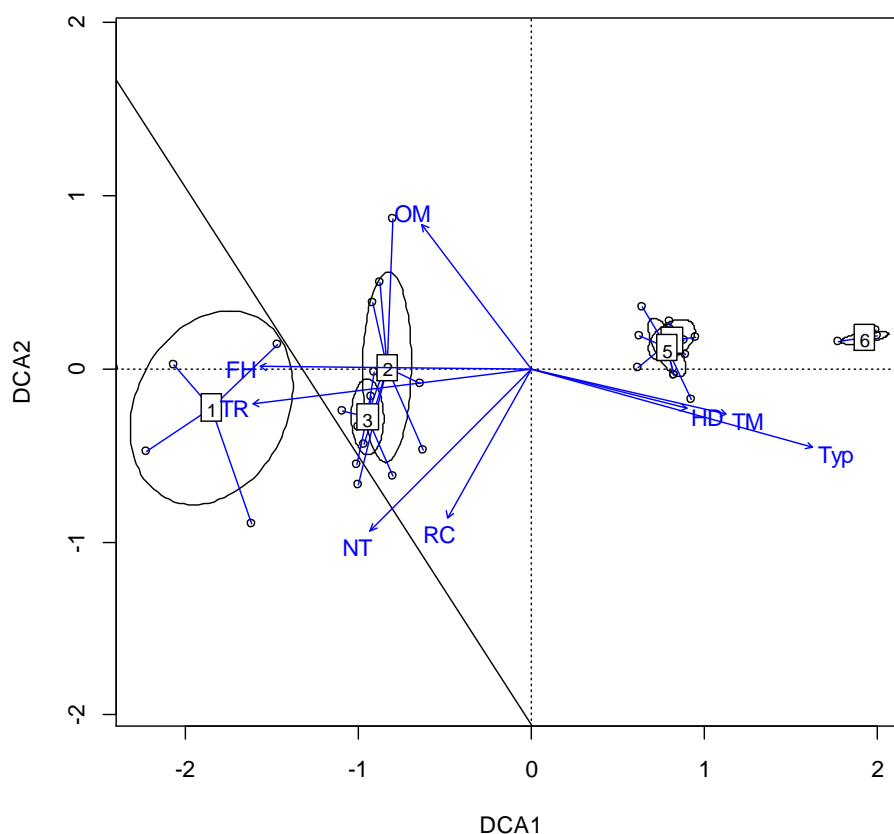


Рисунок 4.23 – Климатические и почвенные факторы дифференциации лесной растительности в западных низкогорьях Южного Урала на ординационной диаграмме: расшифровка факторов приведена в таблице 4.13

Таблица 4.11 – Корреляция факторов с осями ДСА

Фактор	DCA1	DCA2	R <sup>2</sup>	p
Тур – номер типа леса в обобщенном топоэкологическом профиле	<b>0,96</b>	-0,27	0,88	0,001
ТМ - термоклиматический	<b>0,93</b>	-0,23	0,42	0,004
KN – континентальность	<b>-0,92</b>	-0,38	0,34	0,432
OM – аридности-гумидности климата	-0,61	<b>0,79</b>	0,34	0,008
CR – криоклиматическая	0,27	<b>0,96</b>	0,08	0,311
HD – увлажнение	<b>0,97</b>	-0,25	0,26	0,015
TR – трофность,	<b>-0,99</b>	-0,12	0,81	0,001
NT – богатство почв азотом	<b>-0,71</b>	<b>-0,71</b>	0,53	0,001
RC – кислотность	-0,49	<b>-0,87</b>	0,30	0,007
FH – переменность увлажнения	<b>-0,99</b>	0,007	0,76	0,001
LC – освещенность-затенение	-0,24	<b>0,97</b>	0,04	0,596

Рисунок 4.24 построен для Среднего Урала. Он показывает расположение условно-коренных лесов в осях ДСА и доказывает различие между сосновыми и еловыми

фитоценозами. Причем сосняки брусничниковый, ягодниковый, ельник-сосняк зеленомошничково-ягодниковый, орляковый, травяно-липняковый и сосняк с темнохвойным ярусом мшисто-черничниковый образуют одно плотное скопление. Разделить фитоценозы этой группы по типам леса с помощью ДСА-ординации не получилось. Однако эти типы леса значимо различаются по протеканию лесовосстановительных процессов после рубок и требуют различных лесохозяйственных мероприятий. Таким образом, наглядно показаны ограничения традиционных многомерных методов для диагностики типов леса. Некоторые точки расположены вдалеке от основных скоплений. Они соответствуют соснякам с темнохвойным ярусом. Наличие этого темнохвойного яруса определяет структуру травяного покрова и объясняет сходство с еловыми типами леса.

Сосняки разнотравные сформировали отдельное скопление. Несмотря на наибольшее по сравнению с другими типами леса альфа разнообразие, скопление на рисунке занимает небольшую область, что свидетельствует о большом сходстве объектов внутри него. Еловые типы леса, несмотря на общность эдификатора и его сильные эдификаторные свойства, хорошо различаются между собой. Сами скопления достаточно рыхлые, что свидетельствует о разнообразии. Это может быть также связано с менее равномерно пространственно распределенным древостоем и особенностью кроны елей. Эти причины обуславливают более сложную синузильную структуру и соответственно дифференциацию подчиненных ярусов.

Само расположение скоплений (типов леса) отличается от такового полученного для Южного Урала. Для объектов находящихся на Среднем Урале скопления расположились по всей плоскости, тогда как южно-уральские объекты «вытянулись» вдоль первой оси. Это свидетельствует о более сложной структуре действующих факторов и большей дифференциации растительности на Среднем Урале (рисунок 4.24). Проведенный анализ факторов, в который включены показатели, рассчитанные по экологическим шкалам и полученные по экспериментальным данным: климатические (5 факторов), фитоценотические (8 факторов), эдафические (17 факторов), позволил нанести векторы наиболее значимых факторов на ДСА-диаграмму (рисунок 4.25). Получилась очень наглядная картина расположения типов леса и определяющих ее факторов. Длина вектора указывает на силу влияния фактора, а направление на положительную или отрицательную связь. Эдификаторы нанесены также в виде векторов. При их расчете использована доля в составе древостоя.

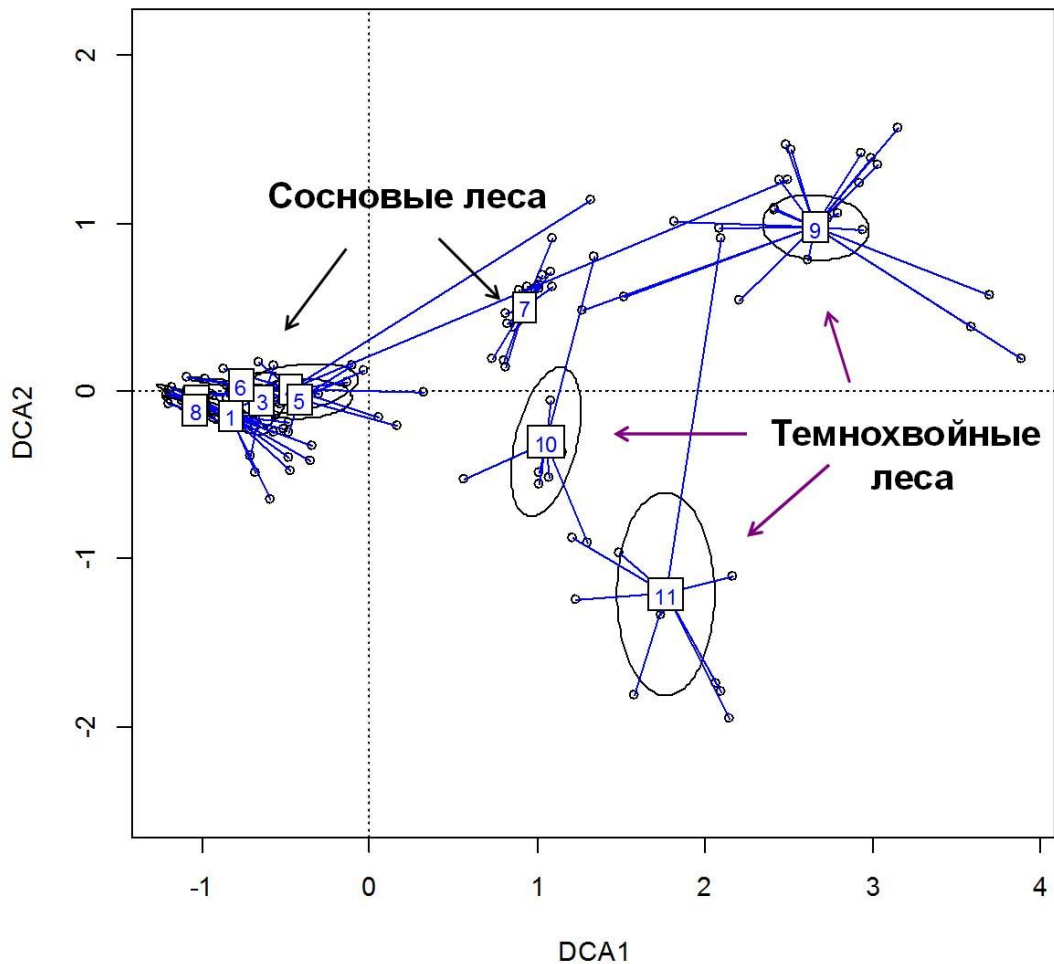


Рисунок 4.24 – DCA-ординация условно-кренных лесов Зауральской холмисто-предгорной провинции Среднего Урала: цифрами обозначены типы леса: 1 – С бр., 2 – С яг., 3 – С яг.лп., 4 – Е-С зм.-яг., 5 – С орл., 6 – С тр.-лп., 7 – С ртр., 8 – С-Тх мш.чер., 9 – Е тр.зл., 10 – С-Е втр., 11 – Е-К хв.мш.

Связь факторов с осями DCA и уровни значимости приведены в таблице 4.12. С первой осью DCA наиболее тесно связаны богатство почв азотом, переменность увлажнения, трофность почв и доля сосны обыкновенной в составе древостоя. Со второй осью коррелируют термоклиматический фактор, увлажнение и кислотность почв, а также доля ели сибирской в составе древостоя. Мощность почвенного профиля является комплексным фактором и имеет высокую корреляцию как с первой осью DCA, так и со второй. Вектор для сосны обыкновенной связан сильнее с первой осью, а для ели сибирской, напротив, со второй. Кислотность почв определена экспериментально для двух горизонтов и по шкалам Цыганова. Результаты различных методов дали аналогичный результат (таблица 4.12). Поэтому на рисунок нанесены данные кислотности почв полученные только по экошкалам. Интересный результат получился по содержанию калия ( $K_2O$ ). Его содержание в верхнем горизонте тесно связано на уровне

значимости 0,001 с первой осью DCA, а его содержание в горизонте ВС также тесно коррелирует, но уже со второй осью DCA.

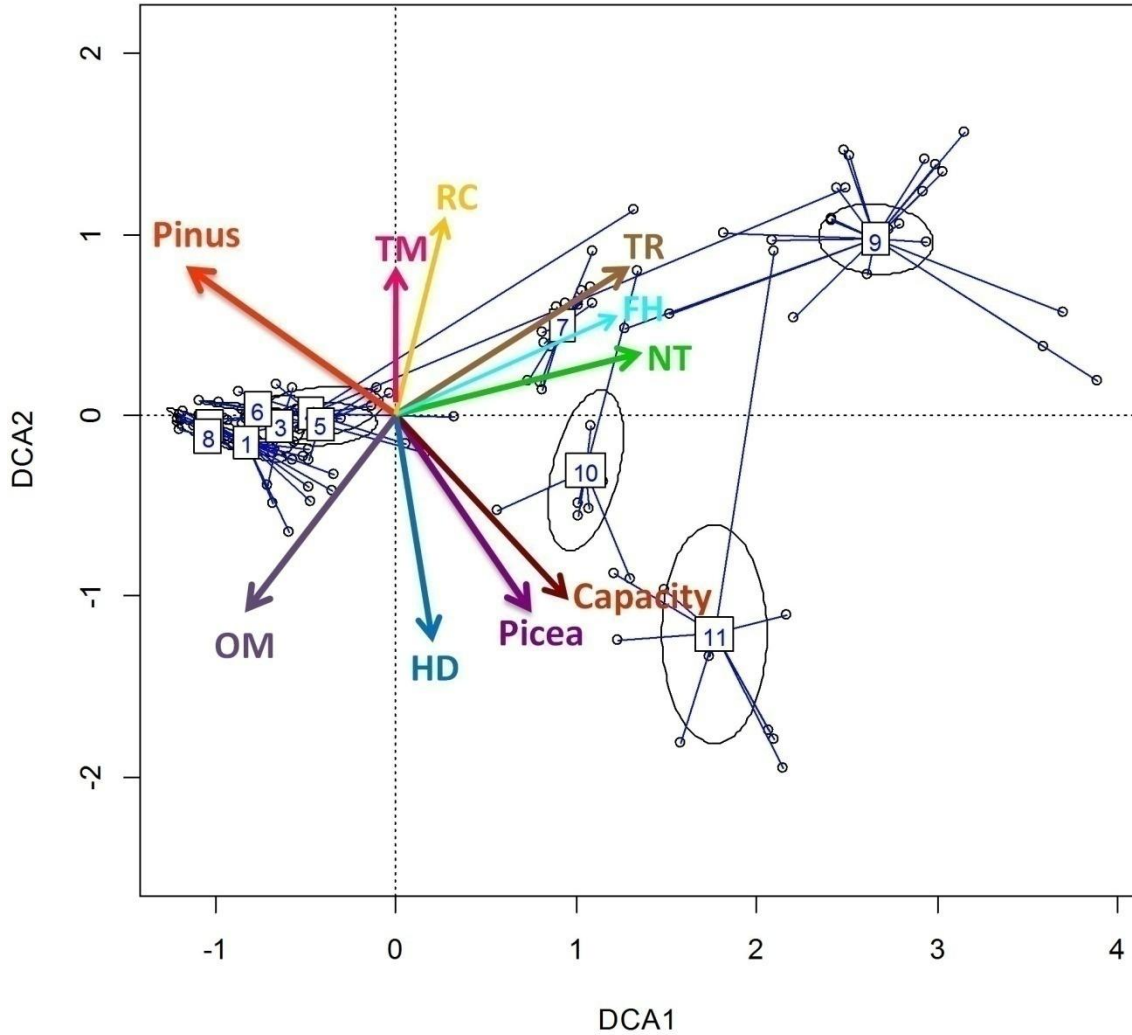


Рисунок 4.25. Факторы дифференциации условно-коренных лесов в Зауральской холмисто-предгорной провинции Среднего Урала: расшифровка факторов приведена в таблице 4.12; 1-11 – типы леса по рисунку 4.24.

Таблица 4.12 – Корреляция наиболее значимых факторов дифференциации условно-коренной растительности Среднего Урала с осями DCA

Экологический фактор	DCA1	DCA2	R <sup>2</sup>	p
Климатические факторы				
TM – термоклиматический	0.004	<b>0.99</b>	0.19	0.001
OM – омброклиматический (соотношение осадков и испарения)	-0.63	<b>-0.78</b>	0.68	0.001
LC – освещенность	<b>-0.99</b>	0.11	0.28	0.001
Фитоценоотические факторы				
Pinus – доля сосны обыкновенной в составе древостоя	<b>-0.78</b>	0.63	0.67	0.001
Picea – доля ели сибирской в составе древостоя	0.63	<b>-0.77</b>	0.72	0.001
Эдафические факторы				
TR – трофность почв (солевой режим)	<b>0.86</b>	0.51	0.65	0.001
NT – богатство почв азотом	<b>0.95</b>	0.31	0.69	0.001
HD – увлажнение почв	0.24	<b>-0.97</b>	0.40	0.001
FH – переменность увлажнения почв	<b>0.92</b>	0.39	0.55	0.001
RC – кислотность почв	0.43	<b>0.90</b>	0.39	0.001
Актуальная кислотность (pH <sub>H2O</sub> ) горизонта A1	-0.11	<b>0.99</b>	0.45	0.001
Актуальная кислотность (pH <sub>H2O</sub> ) горизонта BC	0.60	<b>0.80</b>	0.31	0.001
Sapacity – мощность почв	0.70	-0.72	0.78	0.001
Содержание калия (K <sub>2</sub> O) для горизонта A1	<b>-0.91</b>	-0.40	0.26	0.001
Содержание калия (K <sub>2</sub> O) для горизонта BC	0.25	<b>-0.97</b>	0.29	0.001

### Выводы

1. Изучено 9 типов условно-коренных лесов для западных низкогорий Южного Урала и 12 типов для южно-таежных лесов Зауральской холмисто-предгорной провинции.
2. Впервые на основе данных о продуктивности травяно-кустарничкового яруса выполнен неотклоняемый анализ соответствий (DCA), получены ординационные диаграммы и проведен анализ факторов. Выявлено, что основными действующими факторами в западных низкогорьях Южного Урала являются термоклиматический и увлажнение почв (тесно коррелируют с первой осью DCA) и богатство почвы азотом, кислотность почв (тесно коррелируют со второй осью DCA), для Зауральской холмисто-предгорной провинции: богатство почв азотом как и трофность почв (тесно коррелируют с первой осью DCA) и термоклиматический, увлажнение почв и кислотность почв (тесно коррелируют со второй осью DCA).
3. Впервые для условно-коренных лесов получены ранговые распределения обилий видов, которые можно считать эталонными для типов леса изученных регионов. В связи с прогрессирующей трансформацией лесных экосистем Урала и уничтожением коренных лесов ценность полученных эталонных ранговых распределений сложно переоценить.

4. Впервые на основе шкал Цыганова и двух методов расчета (регрессионным методом и классическим по средним значениям) получены экологические характеристики условно-коренных лесов, которые можно считать эталонными для типов леса изученных регионов.
5. Полученные данные дополняют схемы типов леса Е.М. Фильрозе (1983) для Южного Урала и кадастр типов леса, составленный Б.П. Колесниковым, Р.С. Зубаревой и Е.П. Смолоноговым (1973) для Среднего Урала, сведениями об экологическом пространстве типов леса, диагностических и доминирующих видах, структуре и продуктивности травяно-кустарничкового яруса, ранговых распределениях обилий видов растений.

## **Глава 5. Закономерности естественного возобновления древесных растений под пологом древостоев, на сплошных вырубках и гарях в горах Южного и Среднего Урала**

### **5.1. Актуальность проблемы и задачи исследований**

Естественное возобновление древесных растений признается главным фактором, определяющим устойчивость коренных хвойных лесов и успешность их восстановления после катастрофических воздействий (Санников, 1992). Наличие или отсутствие подроста хвойных растений под пологом леса является «триггером» восстановительно-возрастных смен после сплошных рубок, а способность к появлению и выживанию всходов древесных растений на открытых местообитаниях определяет успешность естественного лесовосстановления вырубок и гарей. Однако процессы естественного возобновления, имеющие свои особенности в различных регионах и типах леса, до конца не изучены. Поэтому успешное восстановление хвойных лесов возможно лишь на основе детальных количественных исследований лесотипологических особенностей процессов появления, выживания и роста новых поколений хвойных растений под пологом леса, на вырубках и гарях (Санников, 1992).

Задачей наших исследований являлось выявление особенностей естественного возобновления основных хвойных лесообразователей под пологом древостоев и на открытых местообитаниях (сплошных вырубках и гарях) в горах Южного и Среднего Урала в зависимости от типа леса на основе детальных количественных исследований с выявлением не только общей численности и высоты подроста древесных растений, но и возрастной структуры.



## 5.2. Закономерности естественного возобновления ели сибирской и пихты сибирской в Западных низкогорьях Южного Урала

### 5.2.1. Закономерности естественного возобновления ели сибирской и пихты сибирской под пологом темнохвойных лесов

Интенсивная эксплуатация лесов в районе исследований привела к увеличению площадей, покрытых молодыми темнохвойными фитоценозами различной густоты и возраста. Поэтому нами с целью наиболее детального исследования разнообразие ельников были выделены и изучены близкие к коренным (субкоренные) леса и ельники, сформировавшиеся после сплошных рубок, в том числе в условиях незначительного выпаса и после пожаров (рисунок 5.1). Кроме различий в древостое (густоте, возрасте и др.), изученные фитоценозы различались также микроусловиями и подчиненными ярусами. Формирующиеся после сплошных рубок леса имеют меньшую сумму сечений стволов древостоя, увеличенное обилие березы пушистой и сосны обыкновенной (рисунок 5.1). Максимально изменяется подпологовая растительность: проективное покрытие мхов снижается, а травяно-кустарничкового яруса, напротив, увеличивается (Иванова, 2007).

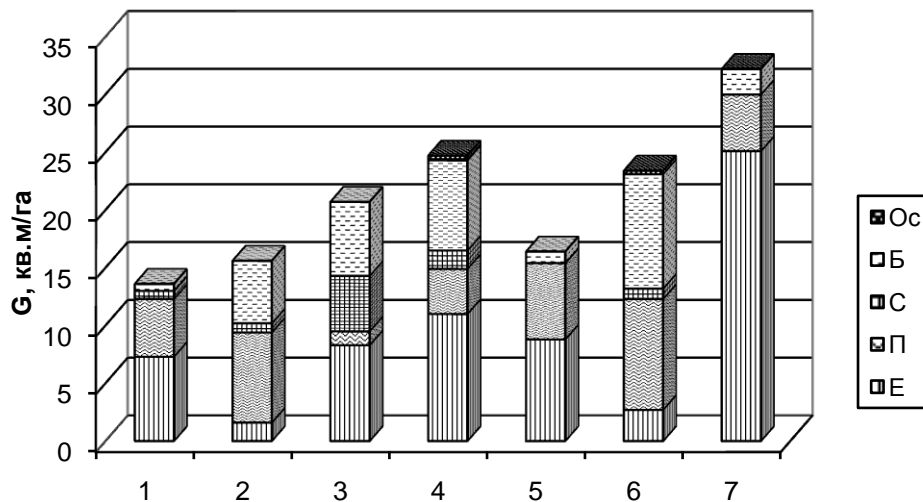


Рисунок 5.1 – Абсолютная полнота темнохвойных лесов Южного Урала (по данным Г.В. Андреева (2005)): 1 – пасторальный 50-летний ельник и пихтарники; 2 – 50-летний послерубочный пихтарник; 3 – 65-летний пироженный ельник, 4 – 50-летний ельник, формирующийся после зимней сплошной рубки; 5 – 100-летний послерубочный ельник; 6-7 – близкие к коренным ельники 160 и 140 летнего возраста соответственно; Е – ель сибирская, П – пихта сибирская, С – сосна обыкновенная, Б – береза пушистая, Ос – осина

Мы выдвинули и проверяли гипотезу о том, что, несмотря на сохранение эдификатора, процессы естественного возобновления в близких к корнным и молодых темнохвойных лесах имеют различия.

Из субкоренных лесов изучены 140-160-летние темнохвойные леса. За время своего существования они не были затронуты рубками и пожарами, поэтому смогли сохранить основные черты климаксовых лесов: многоярусность и разновозрастность древостоя, хорошо развитый слой мха, редкий мелкотравный травяной покров.

В своих исследованиях кроме вышеназванной мы проверяли еще ряд гипотез:

1. Пожары, хоть и наблюдаются в этих условиях достаточно редко, вызывают изменения в процессах естественного возобновления под пологом леса.

2. Зимние рубки позволяют максимально сохранить среду обитания и молодые поколения хвойных растений.

3. Выпас скота вносит дополнительные особенности. При низкой интенсивности пасторальной нагрузки имеет положительный эффект для появления и роста подрост хвойных растений, так как травянистый ярус изреживается, а подрост березы и осины объедается.

Исследование численности подрост под пологом темнохвойных древостоев выявило, что численность подрост пихты сибирской выше численности подрост ели сибирской во всех изученных фитоценозах. Определенного вывода о тенденциях изменения количества подрост в молодых темнохвойных лесах сделать нельзя, так как было отмечено как увеличение численности, так и его снижение (рисунки 5.2 – 5.5). Однозначный вывод касается постпирогенного ряда, где численность подрост снижалась, что можно считать особенностью постпирогенных ельников (рисунок 5.4).

Для того чтобы сделать вывод об устойчивости фитоценоза полезно рассмотреть возрастную структуру эдификатора. Одним из критериев устойчивости популяции признается разновозрастность. Причем преобладать должны молодые поколения, а численность более старших сокращаться. Анализ, проведенный на основе определения возраста всех экземпляров подрост на учетной площади, показал, что на всех обследованных участках можно наблюдать постоянное появление новых экземпляров темнохвойного подрост (рисунки 5.2 – 5.5). Это наблюдение является важным, так как доказывает сохранение процессов лесовозобновления под пологом не только субкоренных лесов, но и в молодых темнохвойных лесах. Эта особенность гарантирует формирование устойчивого разновозрастного древостоя. Тем не менее, не во всех случаях возрастное распределение является оптимальным. Весьма близко к желаемому возрастное распределение имеет подрост ели сибирской в субкоренном ельнике

(рисунок 5.2), ельнике, формирующемся под воздействием выпаса (рисунок 5.3), и в пирогенном (рисунок 5.4). Для пихты сибирской выявлено большое варьирование численности возрастных классов (рисунки 5.2 – 5.5). Некоторый тренд снижения числа особей старших возрастов установлен для субкоренного ельника (рисунок 5.2) и ельника, подверженного выпасу (рисунок 5.5). На остальных пробных площадях данной зависимости не установлено. Кроме того, замечено более интенсивное усыхание темнохвойного подроста во вновь формирующихся лесах по сравнению с субкоренными лесами.

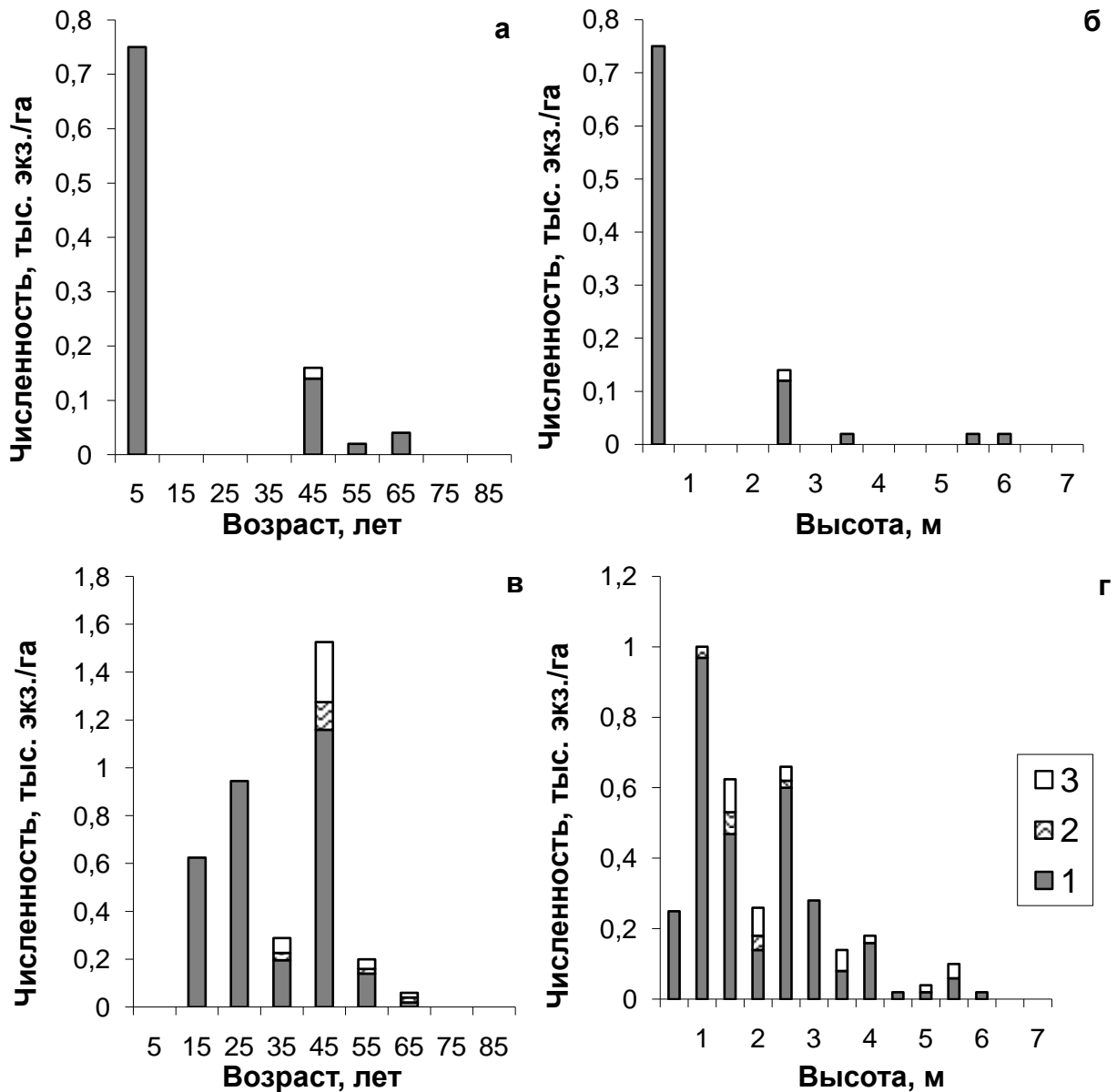


Рисунок 5.2 – Возрастная и высотная структуры подроста ели сибирской (а, б) и пихты сибирской (в, г) в 160-летнем ельнике (относительная полнота 1,0) Южного Урала: 1 – жизнеспособный подрост, 2 – нежизнеспособный подрост, 3 – мертвый подрост

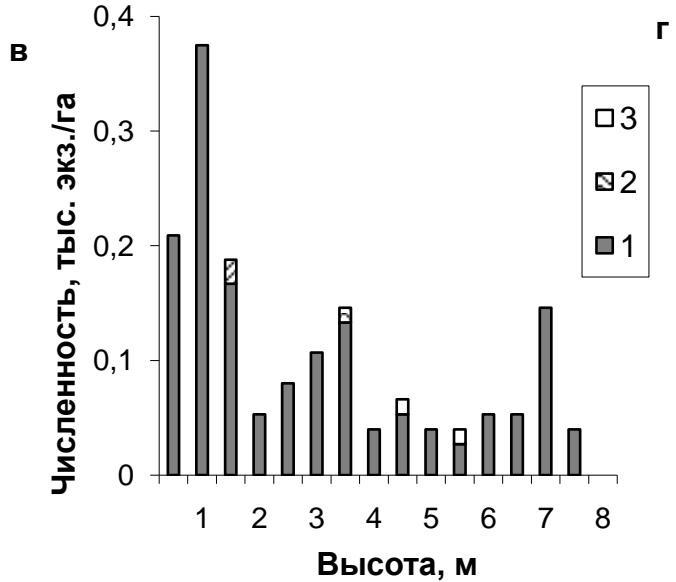
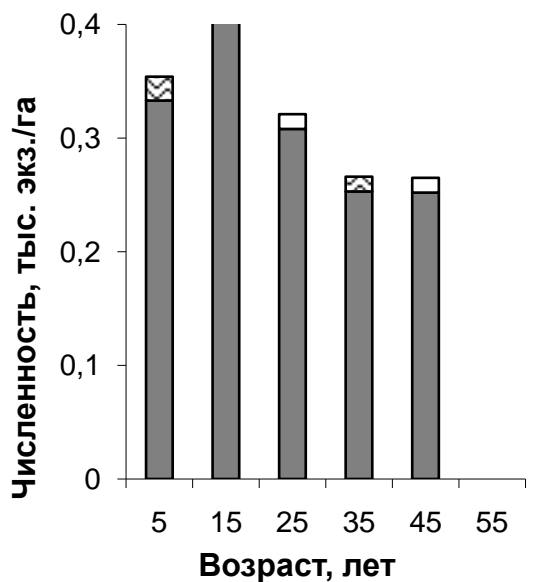
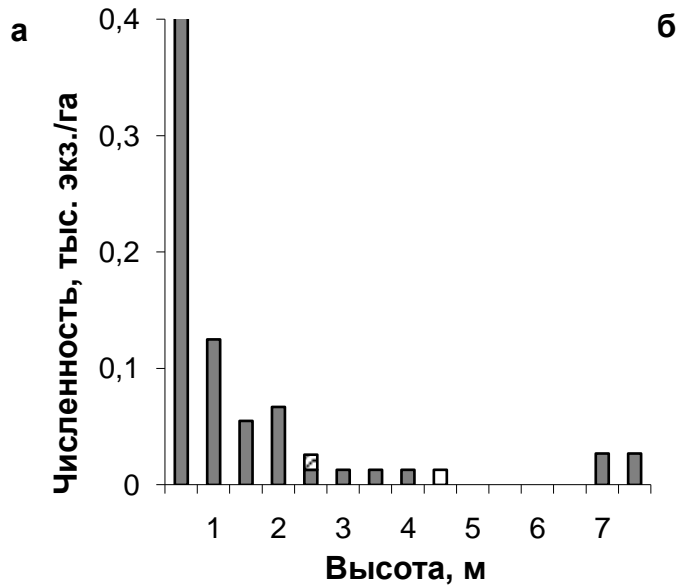
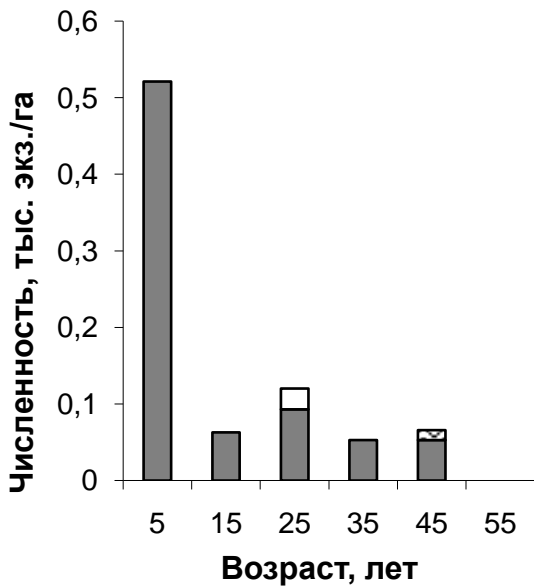


Рисунок 5.3 – Возрастная и высотная структуры подроста ели сибирской (а, б) и пихты сибирской (в, г) в 50-летнем ельнике (относительная полнота 0,89) Южного Урала, сформировавшемся под воздействием умеренного выпаса (давность рубки 25 лет): 1 – жизнеспособный подрост, 2 – нежизнеспособный подрост, 3 – мертвый подрост

Особенностью ельников, формирующихся после зимних рубок, является обилие крупного подроста, возраст которого равен или чуть больше давности рубки. Это свидетельствует о том, что в процессе зимних рубок подрост, имевшийся под пологом леса, хорошо сохранился. Кроме того, появление последующих генераций сразу после сплошной рубки свидетельствует о сохранении среды обитания в целом. Больше по сравнению с другими ельниками усыхание темнохвойного подроста указывает на повышенную конкуренцию с формирующимся древостоем и более крупными экземплярами подроста.

Итак, все выдвинутые нулевые гипотезы подтвердились: формирующиеся ельники после зимних рубок, пожаров и под воздействием умеренного выпаса хотя и не имеют значимых отличий в численности темнохвойного подроста, имеют отличия в его возрастной структуре как от близких к коренным ельникам, так и друг от друга, но в целом для субкоренных ельников и молодых темнохвойных лесов доказано постоянство появления новых поколений темнохвойного подроста. Это свидетельствует о том, что ни какие из темнохвойных фитоценозов не утратили возможность самовосстановления своих ценопопуляций и сохранили устойчивое развитие.

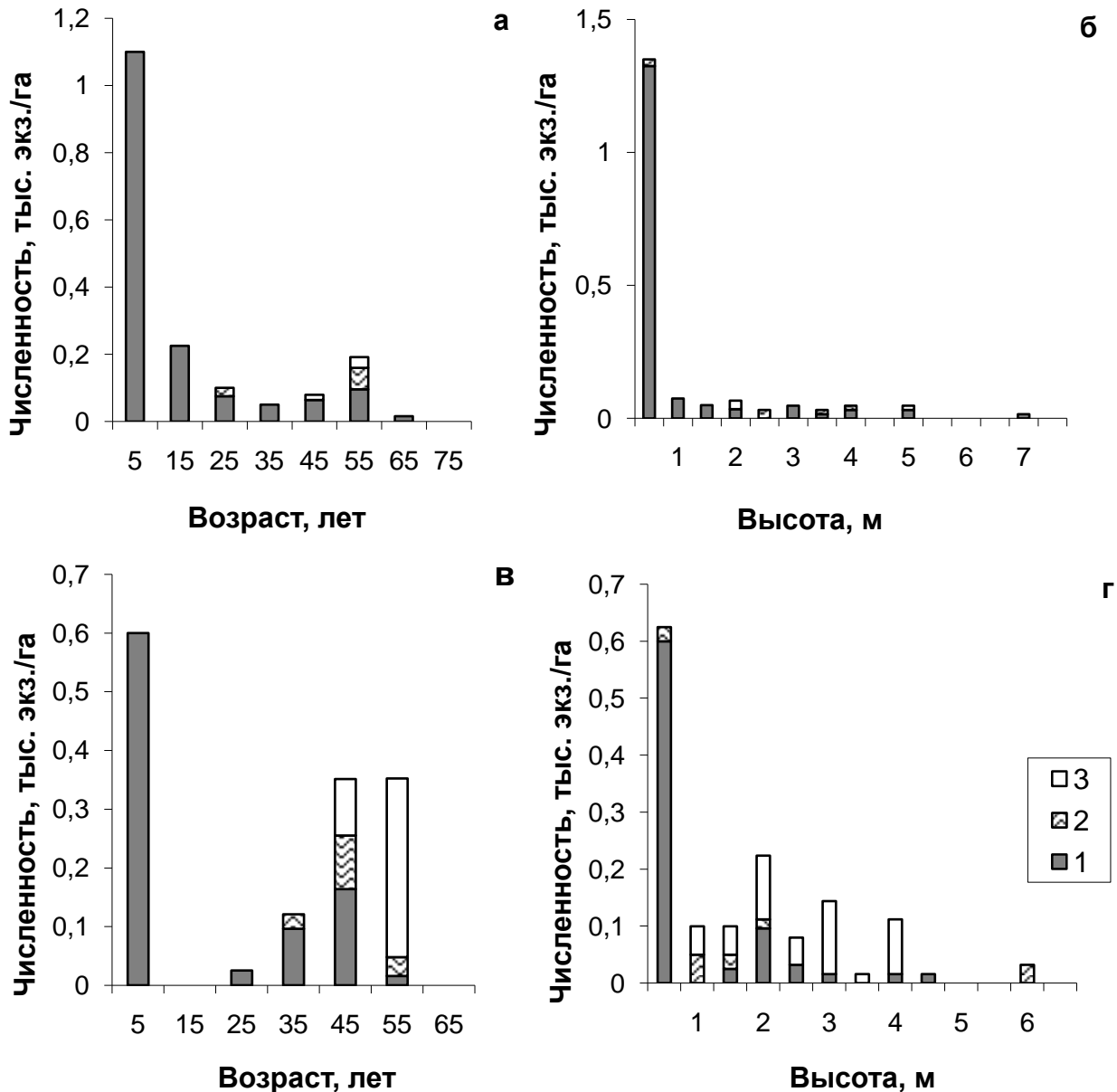


Рисунок 5.4 – Возрастная и высотная структуры подроста ели сибирской (а, б) и пихты сибирской (в, г) в 65-летнем пирогенном ельнике (относительная полнота 1,09) Южного Урала:

1 – жизнеспособный подрост, 2 – нежизнеспособный подрост, 3 – мертвый подрост

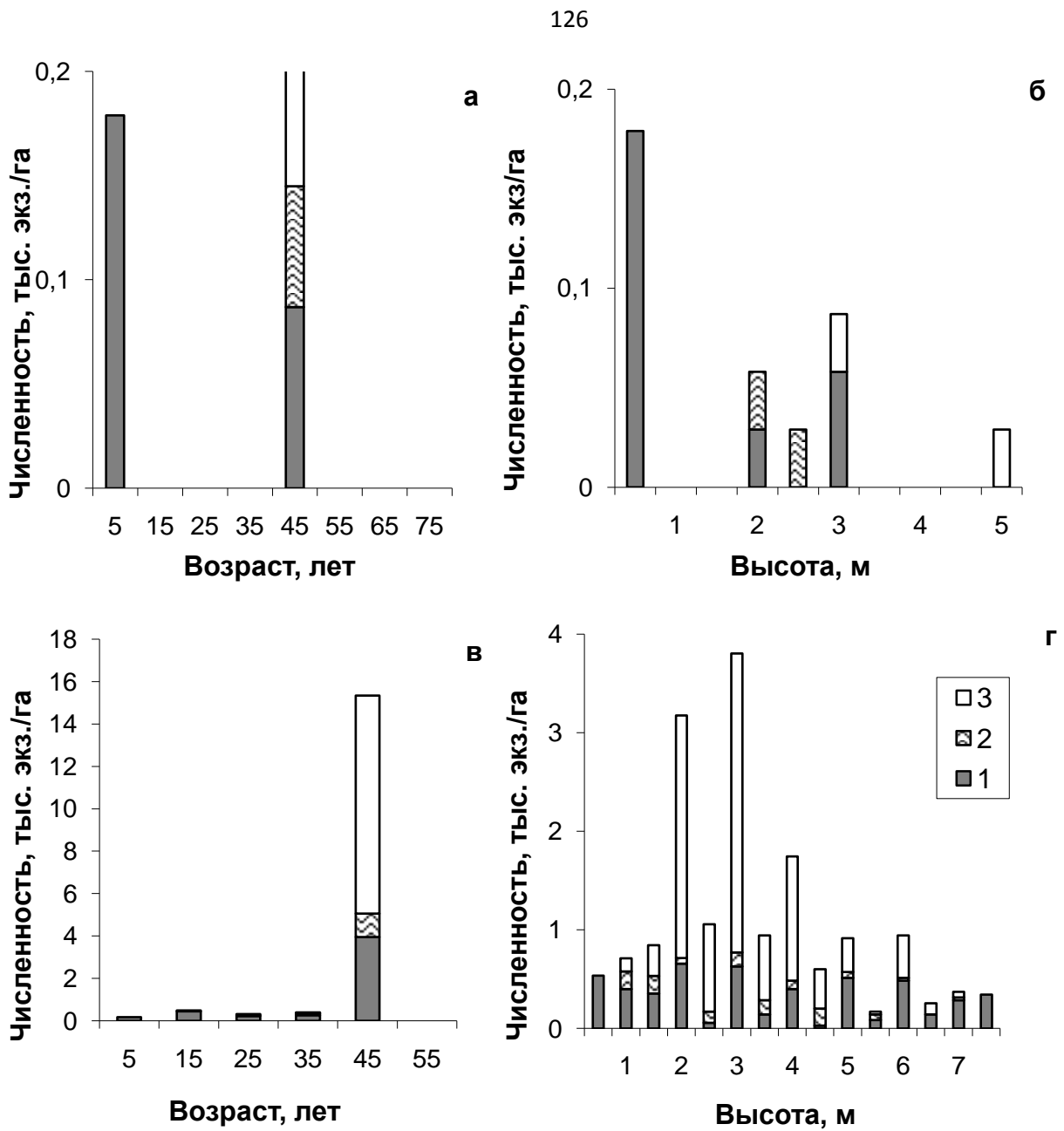


Рисунок 5.5 – Возрастная и высотная структуры подроста ели сибирской (а, б) и пихты сибирской (в, г) в 50-летнем ельнике (относительная полнота 1,17) Южного Урала, сформировавшемся после сплошных зимних рубок (давность рубки 25 лет): 1 – жизнеспособный подрост, 2 – нежизнеспособный подрост, 3 – мертвый подрост

### 5.2.2. Лесотипологические особенности вырубок

В обобщенном топоэкологическом профиле западных низкогорий Южного Урала (от вершин гор с мелкими каменистыми почвами (10-20 см) (крайне неустойчивый режим увлажнения)) до нижних частей пологих периодически переувлажненных склонов с мощными почвами, имеющими признаки оглеения, проведено исследование сплошных вырубок. Маршрутные исследования позволили выявить их разнообразие. Основные выявленные типы приведены в таблице 5.1. Названия даны по преобладающим видам. Естественное возобновление классифицировалось как обильное, достаточное, редкое и единичное.

Таблица 5.1 – Изученные типы вырубок западных низкогорий Южного Урала

Индекс. Рельеф, почва (особенности и мощность)	Условно-коренной тип леса, шифр	Тип вырубки, возобновление древесных растений
Верхний высотный пояс (700–900 м над ур.м.)		
<b>110</b> Южные склоны (7-16 градусов) с каменистыми мелкими почвами – до 20– 30 см. Увлажнение недостаточное и нестабильное	Ельник альпийскогорцовый; Е ал. грц.	Альпийскогорцовые; Редкое – береза, ель
Средний высотный пояс (500–700 м над ур.м.)		
<b>220</b> Северные склоны и слабо покатые южные склоны со среднемошными почвами (до 40–50 см). Увлажнение достаточное и временами не стабильное	Ельник крупнопоротниковый; Е кр. пр.  Ельник неморальный; Е нмр.	Высокотравные, высокотравно- малинниковые; Достаточное – липа, береза Редкое – ель, пихта, вяз, клен, осина
<b>230</b> Северные и южные склоны с почвами более 50 см глубиной. Увлажнение стабильное и достаточное	Ельник крупнопоротниковый; Е кр. пр.  Ельник неморальный; Е нмр.	Высокотравные, высокотравно- малинниковые; Достаточное – липа, береза Редкое – ель, пихта, вяз, клен, осина
Нижний высотный пояс (400–500 м над ур.м.)		
<b>320</b> Северные склоны и слабо покатые южные склоны со среднемошными почвами (до 40–50 см). Увлажнение достаточное и временами не стабильное	Ельник мелкотравно- зеленомошный; Е мтр. зм.	Высокотравно- вейниковые; Достаточное – береза, липа Редкое – ель, пихта, осина
Северные и южные склоны с почвами более 50 см глубиной. Увлажнение стабильное и достаточное	Ельник мелкотравно- зеленомошный; Е мтр. зм.	Вейниково- высокотравные; Достаточное – береза, липа Редкое – ель, пихта, осина
<b>340</b> Сырые склоны, почвы с признаками оглеения. Увлажнение избыточное в весенний период	Ельник хвощево- мшистый; Е хв. мш.	Высокотравные; Достаточное – береза, ольха, осина Достаточное – ель, пихта

В верхнем высотном поясе преобладают склоны крутизной более 7 градусов, при этом почвенный покров каменистый, его мощность часто не превышает 15 см. Режим увлажнения полностью зависит от атмосферных осадков. В данном экотопе формируются вырубки с редким темнохвойным подростом, преимущественно предварительного рубке происхождения. Естественное восстановление коренных лесов затруднено.

Средний высотный пояс благодаря температурным инверсиям является наиболее теплым. На вырубках формируется мощно развитый высокотравный и высокотравно-малинниковый покров. В данном экотопе хорошо возобновляется липа (*Tilia cordata* Mill.) и береза (*Betula pubescens* Ehrh.). Темнохвойный подрост встречается редко.

В нижнем высотном поясе в условиях с почвами средней мощности формируются высокотравно-вейниковые вырубки. В местообитаниях с мощными почвами (более 50 см) после сплошных рубок формируются вейниково-высокотравные вырубки. В условиях нижнего высотного пояса на вырубках достаточно хорошо возобновляются липа (*Tilia cordata* Mill.) и береза (*Betula pubescens* Ehrh.). Темнохвойный подрост встречается редко.

В условиях периодически переувлажненных местообитаний формируются высокотравные вырубки, на которых отмечается темнохвойный подрост.

Недостаточность естественного возобновления темнохвойных древесных растений на сплошных вырубках в большинстве типов леса обосновывает необходимость сохранения темнохвойного подроста предварительного рубке происхождения в процессе заготовки древесины.



### 5.2.3. Закономерности естественного возобновления ели сибирской и пихты сибирской под пологом коротко-производных березняков

Проанализировав данные массовой таксации Г.В. Андреев (2007) установил площадь покрытую коротко-производственными березняками. По результатам его исследований она составила всего четыре процента (Андреев, 2007). В связи с этим выдвинута нулевая гипотеза о том, что причины низкого распространения коротко-восстановительных смен заключаются в особенностях естественного лесовозобновления на вырубках.

Поэтому задачей исследований было выявление особенностей подроста темнохвойных древесных растений на вырубках и под пологом вновь формирующихся древостоев в сравнении с близкими к коренным темнохвойными лесами.

Проведенные исследования показали (Иванова, Андреев, 2008), что древостой коротко-производных фитоценозов обладает динамичным составом и структурой (рисунок 5.6).

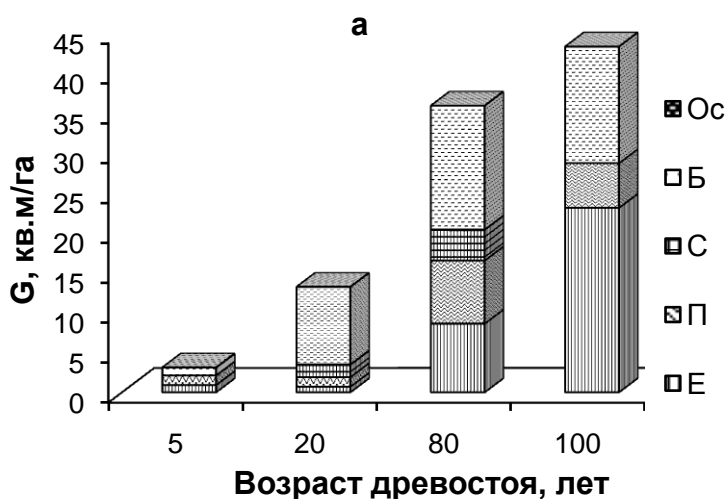


Рисунок 5.6 – Структура древостоя изученных коротко-производных березняков: а – сумма площадей сечений древостоя (по данным Г.В. Андреева (2005)); Е – ель сибирская, П – пихта сибирская, С – сосна обыкновенная, Б – береза пушистая, Ос – осина.

Специальные исследования процессов естественного возобновления, выполненные автором диссертационной работы, выявили, что в молодых хвойно-лиственных лесах успешно произрастает жизнеспособный подрост ели сибирской и пихты сибирской. Однако первые стадии характеризуются наличием лишь предварительных генераций елового (рисунок 5.7а, б) и пихтового (рисунок 5.8а, б) подроста. Последующее возобновление не отмечено. Это приводит к тому, что к двадцати годам после рубки число подроста уменьшается в два раза. При этом численность подроста сибирской ели сокращается в большей степени (рисунок 5.7б).

Восстановление эдификаторной роли темнохвойной компоненты происходит с увеличением давности рубки и за счет роста предварительных генераций. Это способствует появлению последующих генераций ели (рисунок 5.7в) и пихты (рисунок 5.8в). Характер возобновительного процесса становится непрерывным и сходство с субкоренными ельниками по этому признаку увеличивается. Несмотря на это количество жизнеспособного подростка темнохвойных растений с трудом достигает до нижнего порога, характерного для субкоренных фитоценозов (рисунок 5.6).

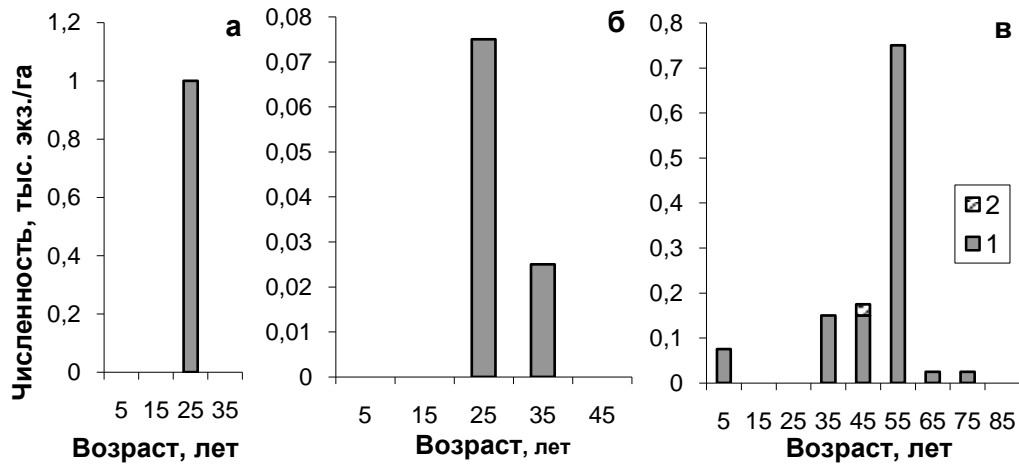


Рисунок 5.7 – Возрастная структура подростка ели сибирской в коротко-производных березняках Южного Урала: а, б, в – давность сплошной рубки 5, 20 и 100 лет соответственно; 1 – жизнеспособный подрост, 2 – нежизнеспособный подрост.

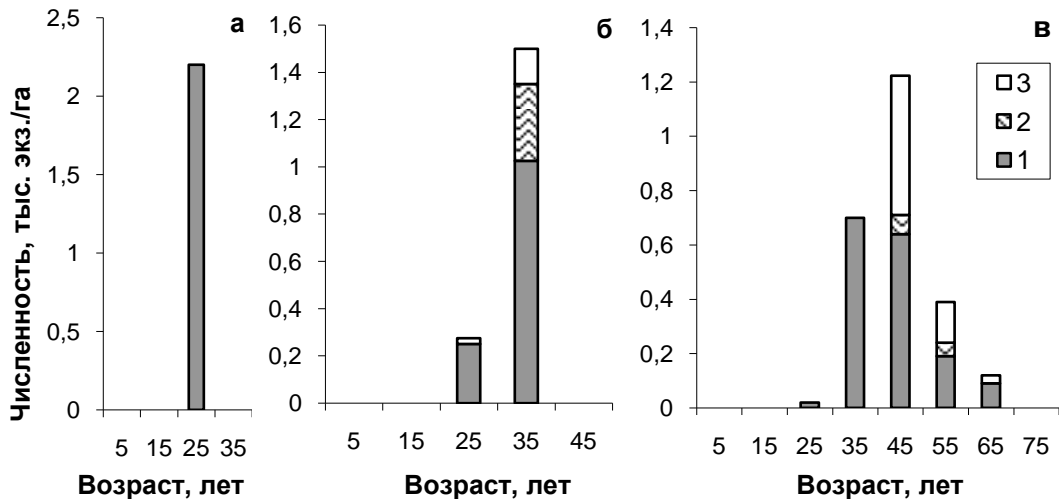


Рисунок 5.8 – Возрастная структура подростка пихты сибирской в коротко-производных березняках Южного Урала: а, б, в – давность сплошной рубки 5, 20 и 100 лет соответственно; 1 – жизнеспособный подрост, 2 – нежизнеспособный подрост, 3 – мертвый подрост

Таким образом, впервые для западных низкогорий Южного Урала нами проанализированы особенности возрастной структуры темнохвойных ценопопуляций при формировании коротко-производных березняков. Проведенный анализ доказал возникновение значимых отклонений в появлении новых поколений ели и пихты: в первые годы после сплошных рубок новые экземпляры темнохвойного подроста не появляются, учтены лишь молодые деревья, которые выжили в процессе лесозаготовок; позднее по мере увеличения эдификаторной роли темнохвойных видов появляются новые поколения и начинает восстанавливаться разновозрастность у подроста, но непрерывным процесс не становится долгое время. Полученные результаты объясняют малое распространение коротко-восстановительных смен на Южном Урале.

#### 5.2.4. Закономерности естественного возобновления ели сибирской и пихты сибирской под пологом длительно-производных березняков

Данный ряд развития отличается длительным доминированием в древостое березы пушистой и крайне медленным повышением доли темнохвойной растений в древостое. Как показали исследования (Иванова, Андреев, 2008), эдификаторная роль ели или пихты восстанавливается только после вывала березы в возрасте более ста двадцати лет. Структура древостоя изученных березняков этого динамического ряда приведена на рисунке 5.9.

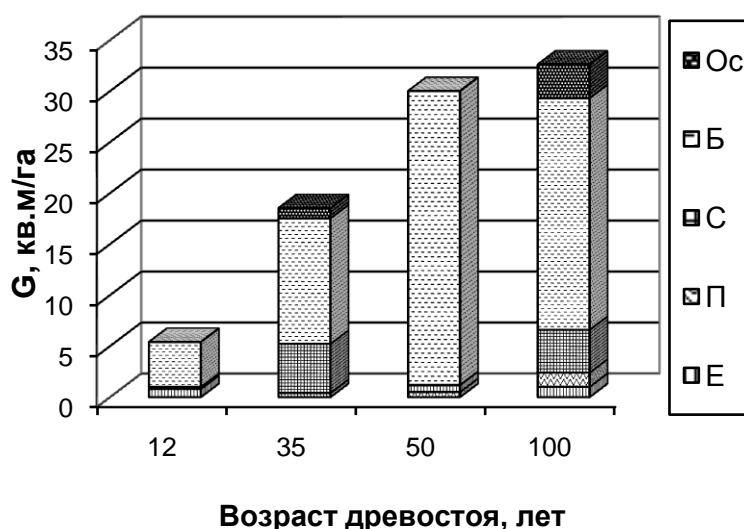


Рисунок 5.9 – Древостой длительно-производных березняков Южного Урала (на основе данных Г.В. Андреева (2005)): G – абсолютная полнота, Е – ель сибирская, П – пихта сибирская, С – сосна обыкновенная, Б – береза пушистая, Ос – осина

На вырубке можно найти темнохвойный подрост, который появился до рубки леса, причем количество его незначительное (рисунки 5.10 – 5.11). Это связано с тем, что выживание всходов затруднено. В молодых формирующихся лесах появление подроста носит прерывистый характер. На некоторых пробных площадях новые поколения подроста ели и пихты зафиксированы уже через десять лет после рубки (рисунки 5.10в, 5.11в, г). В других случаях – позднее. Стабильный характер возобновительного процесса выявлен только для древостоя старшего возраста (рисунок 5.11г), тем не менее, его численность не повышается полторы тысячи экземпляров на гектар, а это намного меньше, чем в субкоренных фитоценозах. Кроме того ель сибирская возобновляется намного хуже пихты сибирской. Ее появление нестабильно, а численность незначительна (рисунок 5.10).

Положительным моментом восстановительного процесса являются хорошие показатели жизненности подроста. Так рисунки 5.10-5.11 демонстрируют, что подрост ели сибирской

представлен только жизнеспособными экземплярами, а угнетенные и усохшие индивидуумы не отмечены, подрост пихты сибирской также в основном жизнеспособный.

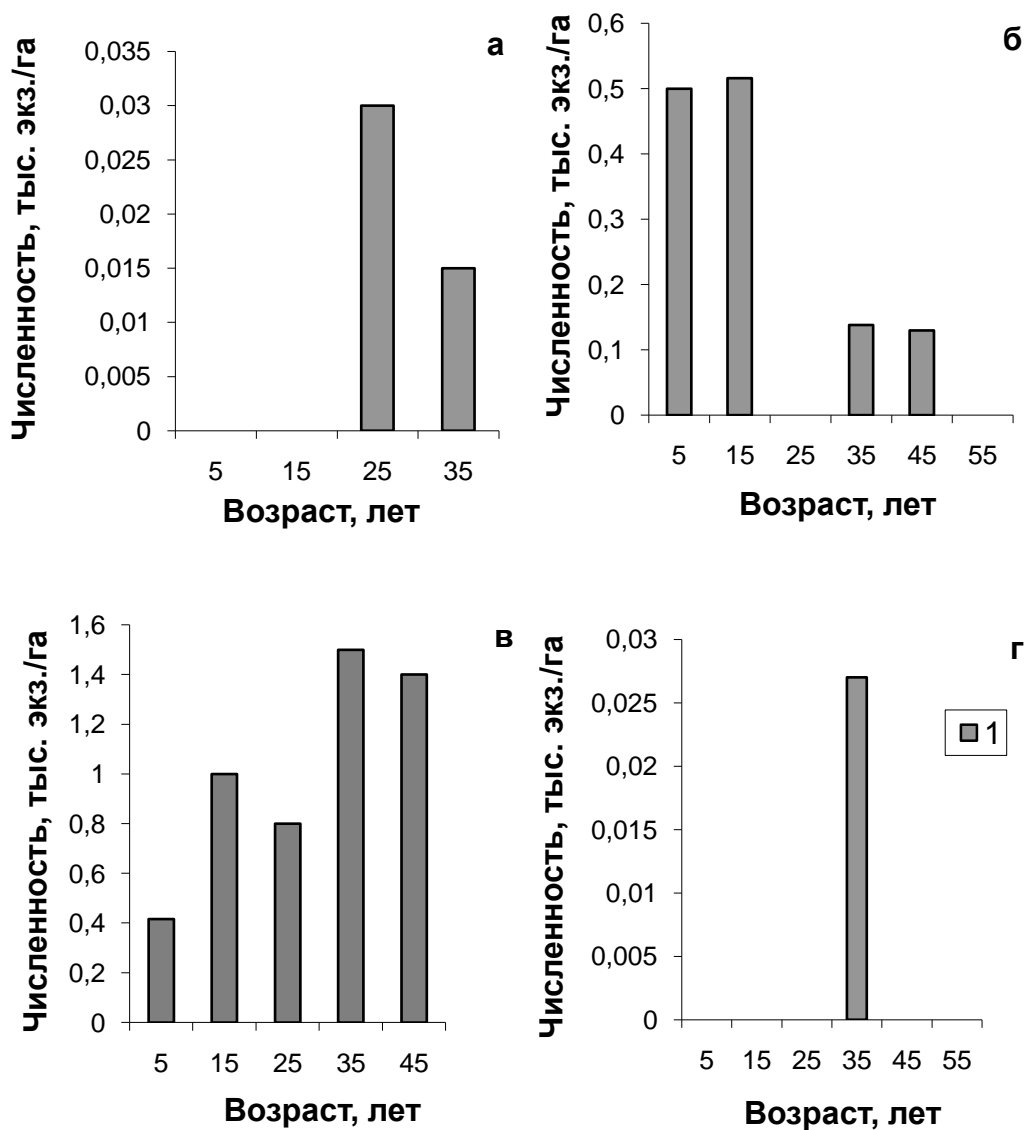


Рисунок 5.10 – Возрастная структура подроста ели сибирской в длительно-производных березняках Южного Урала: а, б, в, г – давность сплошной рубки 12, 35, 50, 100 лет соответственно; 1 – жизнеспособный подрост.

Показатели вертикального прироста также могут подтвердить хорошую жизненность подроста и прогнозировать выход его в древесный ярус. В двадцатилетних березняках подрост пихты сибирской двадцати – тридцатилетнего возраста достигает высоты 0,8-1,1 м, ели сибирской – 0,9-1,3 м, а в тридцати – сорокалетний – 0,8-1,2 и 1,3-1,6 м соответственно.

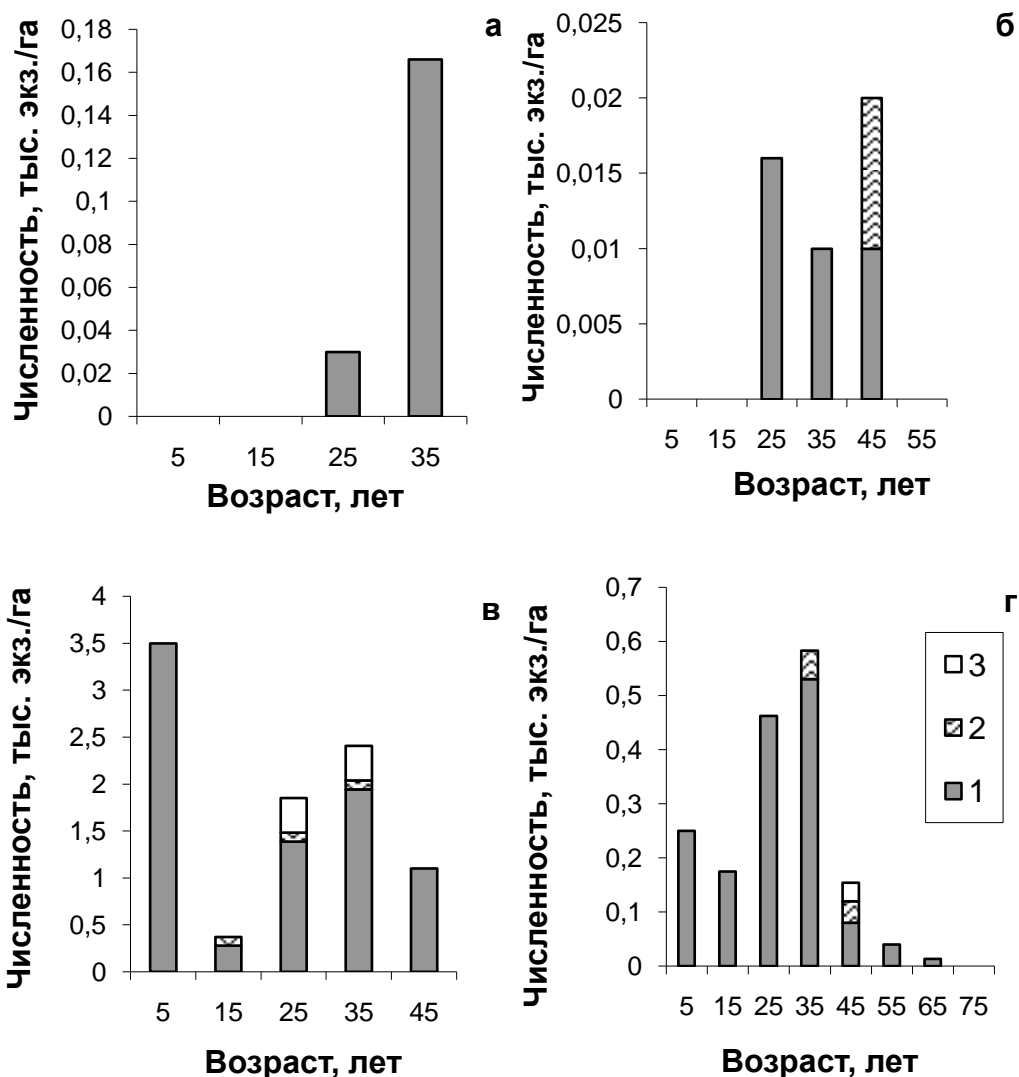


Рисунок 5.11 – Возрастная структура подрост пихты сибирской в длительно-производных березняках Южного Урала: а, б, в, г – давность сплошной рубки 12, 35, 50, 100 лет соответственно; 1 – жизнеспособный подрост, 2 – нежизнеспособный подрост, 3 – мертвый подрост.

В тридцатипятилетних березняках подрост ели сибирской в возрасте до тридцати лет (последующие генерации) не превышает полуметровой высоты; предварительные поколения показывают более хорошие показатели и в возрасте тридцати семи лет достигают до 3,1 м, в сорок – сорок три года до 5,4 м, а к сорока семи годам могут вырасти до 6,6 м; подрост пихты сибирской в 38-45 года имеет высоту 2,1-3,3 м.

Под пологом столетних древостоев мелкий подрост пихты сибирской (до полуметра) может иметь возраст до двадцати трех лет; подрост, имеющий высоту 0,51-1,5 м – от тринадцати до тридцати семи лет. Некоторые индивидуумы пихты сибирской могут достигать высоты 1,6 м в возрасте семнадцати лет.

Таким образом, впервые для Южного Урала исследована возрастная структура подростка ели сибирской и пихты сибирской под пологом длительно производных березняков. Установлено, что возрастная структура темнохвойного подростка сильно трансформирована по сравнению с субкоренными ельниками: появление новых поколений происходит не постоянно. Имеющиеся отдельные деревья ели сибирской создают ресурс семян. Возврат к коренным лесам затянут во времени более чем на сто лет.

### **5.2.5. Закономерности естественного возобновления ели сибирской и пихты сибирской под пологом устойчиво-производных осинников**

Устойчиво-производные осинники покрывают 25 % площади и развиваются при практически полном отсутствии ели и пихты. Чистый состав устойчиво-производных осинников обусловлен корнеотпрысковым происхождением осины (следовательно, ее большой густотой) и высокой скоростью роста (Андреев, 2007). Важную роль в формировании древостоев играет ценотический фактор: большая часть древесных растений не может конкурировать с появившейся осинной.

Наши исследования (Иванова, Андреев, 2008) показали, что доля осины в составе древостоев по количеству деревьев и запасу с возрастом не уменьшается и находится в пределах от 68 до 97% и 7-10 единиц соответственно. Динамика суммы площадей сечений стволов древостоя изученных устойчиво-производных лесов приведена на рисунке 5.12 по данным Г.В. Андреева (2007).

Специальные исследования процессов естественного возобновления древесных растений выявили, что возможность появления и выживания темнохвойных всходов незначительная. Мы отметили только единичные сильно угнетенные экземпляры. Причем с увеличением возраста осинников численность темнохвойного подроста сокращается (рисунок 5.13). Появление новых поколений ели сибирской и пихты сибирской зафиксированы только в шестидесяти пятилетних и столетних осинниках. Но выжившие экземпляры имеют низкую жизнеспособность.

Таким образом, в экодинамическом ряду устойчиво-производных осинников период возврата к исходным темнохвойным фитоценозам сложно прогнозировать. Это обстоятельство становится еще более негативным из-за больших площадей занятых данным древесным видом. В результате приходится констатировать ухудшение позиций темнохвойных лесов в регионе исследований.



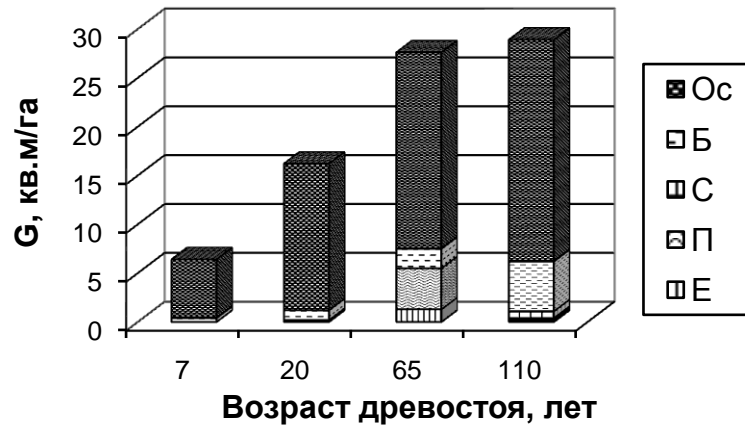


Рисунок 5.12 – Структура древостоя изученных устойчиво-производных осинников Южного Урала (по данным Г.В. Андреева (2005)): G – абсолютная полнота, Е – ель сибирская, П – пихта сибирская, С – сосна обыкновенная, Б – береза пушистая, Ос – осина.

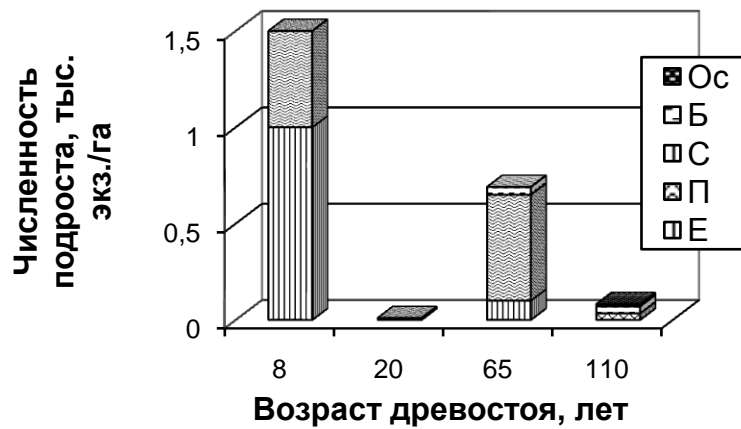


Рисунок 5.13 – Численность подроста древесных растений под пологом устойчиво-производных осинников

### 5.3. Закономерности естественного возобновления сосны обыкновенной, ели сибирской и пихты сибирской в Зауральской холмисто-предгорной провинции Среднего Урала

#### 5.3.1. Закономерности естественного возобновления хвойных древесных растений под пологом условно-коренных лесов

Для всех изученных и описанных в главе 4 условно коренных типов леса проведено изучение процессов возобновления сосны обыкновенной, ели сибирской и пихты сибирской под пологом леса.

Как показали результаты исследований, в сухих условиях под пологом 160-летних сосняков брусничниковых отмечен обильный разновозрастный подрост сосны обыкновенной (рисунок 5.14). Преобладает мелкий подрост в возрасте до 10 лет.

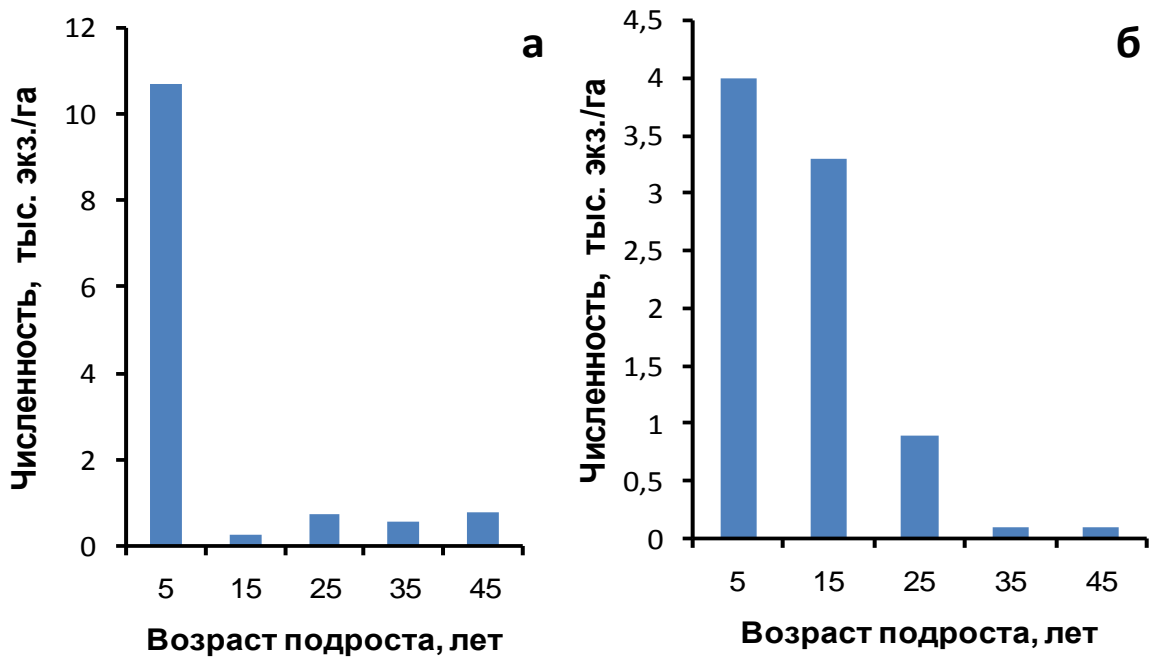


Рисунок 5.14 – Возрастная структура жизнеспособного подроста сосны обыкновенной в 160-летних сосняках брусничниковых (а) и сосняках ягодниковых (б) Среднего Урала

При оптимальном увлажнении почвогрунтов в изученных лесах естественное возобновление древесных растений различно. В сосняках ягодниковых отмечено обильное разновозрастное возобновление сосны. Преобладает подрост в возрасте до 20 лет (рисунок 5.14б). Отдельные экземпляры сильно угнетенного подроста имеют возраст 30-45 лет. В сосняках орляковых кроме достаточного и разновозрастного подроста сосны обыкновенной

отмечен также редкий подрост ели сибирской (рисунок 5.15). В ельниках-сосняках зеленомошниково-ягодниковых выявлен обильный разновозрастный подрост ели сибирской и пихты сибирской, который формирует сомкнутый ярус. Распределение по возрасту достаточно равномерное (рисунок 5.16).

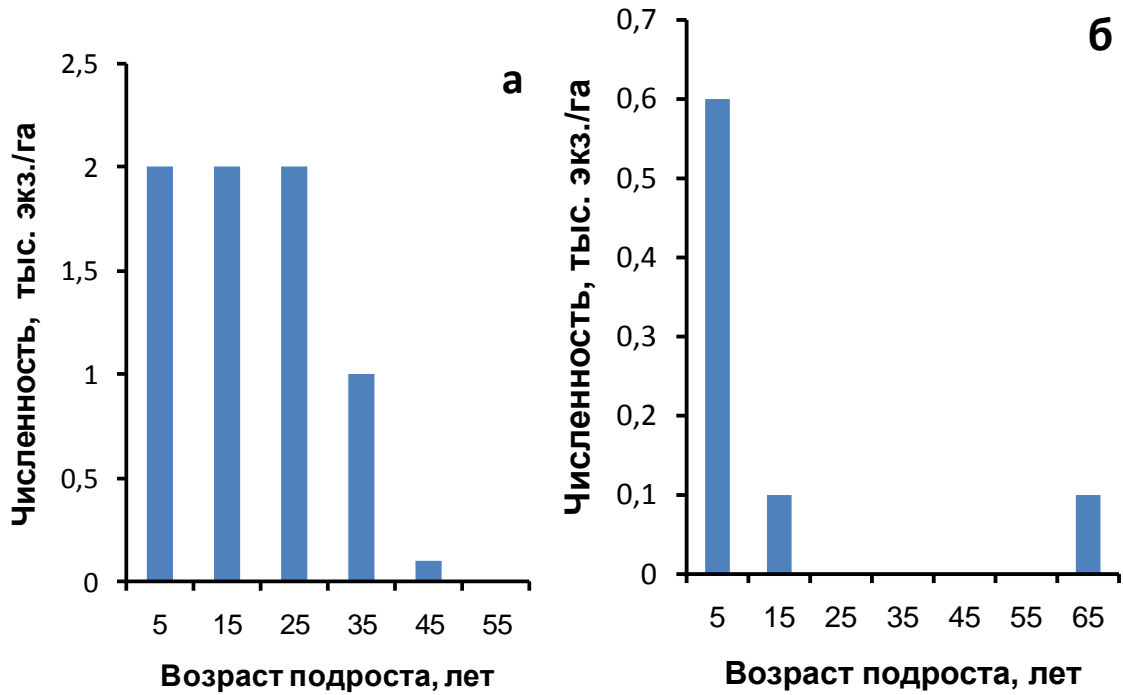


Рисунок 5.15 – Возрастная структура жизнеспособного подростa сосны обыкновенной (а) и ели сибирской (б) в 160-летних сосняках орляковых Среднего Урала

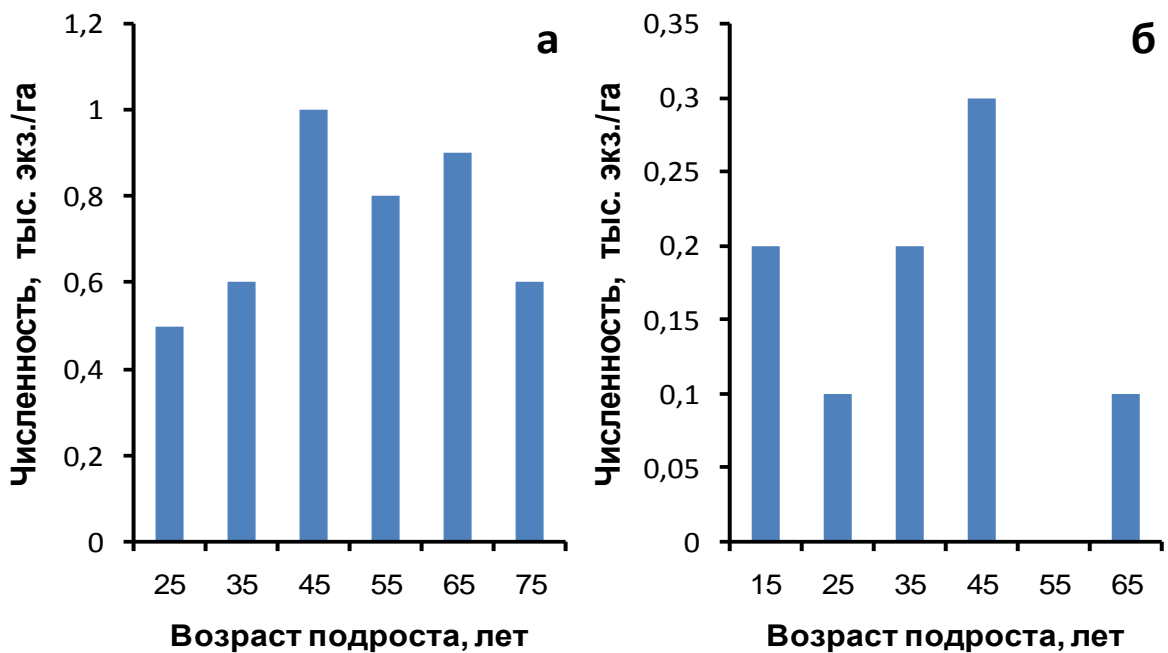


Рисунок 5.16 – Возрастная структура жизнеспособного подростa ели сибирской (а) и пихты сибирской (б) в 110-летних ельниках-сосняках зеленомошниково-ягодниковых Среднего Урала

В травяно-липняковом типе учтены лишь отдельные малочисленные поколения ели сибирской и пихты сибирской в возрасте 30-50 и 25-30 лет соответственно (рисунок 5.17). Молодых поколений не обнаружено, как и подростка сосны обыкновенной. Видимо второй ярус липы, характерный для этого типа леса, создает неблагоприятные условия для появления не только подростка сосны обыкновенной, но и подростка темнохвойных древесных растений.

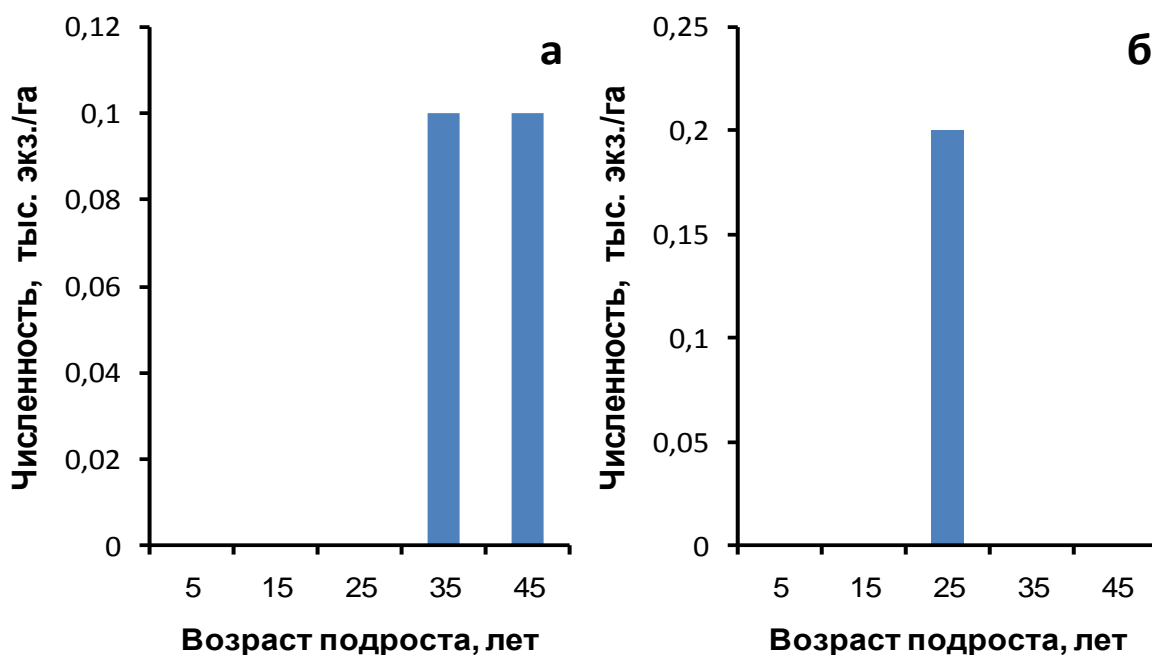


Рисунок 5.17 – Возрастная структура жизнеспособного подростка ели сибирской (а) и пихты сибирской (б) в 160-летних сосняках травяно-липняковых Среднего Урала

На мощных почвах в условиях периодического переувлажнения почв в сосняках разнотравных выявлен редкий разновозрастный подрост сосны обыкновенной и ели сибирской (рисунок 5.18). У сосны обыкновенной преобладают младшие поколения (до 10 лет). Угнетенный подрост можно наблюдать до 45-47-летнего возраста. Ель сибирская представлена в подросте отдельными малочисленными поколениями (20-30 и 40-50 лет).

На плоских гривах среди болот и в слабо дренированных междуречьях под пологом ельников-кедровников хвощево-мшистых встречается редкий подрост ели сибирской, который представлен в основном младшими поколениями (рисунок 5.19).

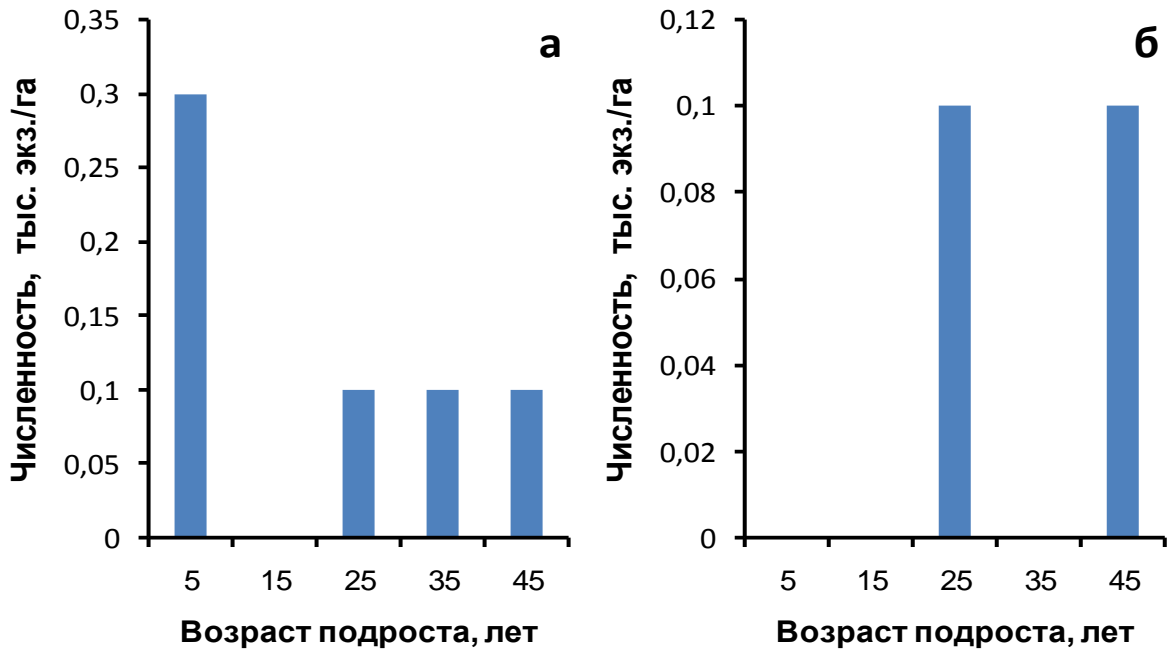


Рисунок 5.18 – Возрастная структура жизнеспособного подроста сосны обыкновенной (а) и ели сибирской (б) в 140-летних сосняках разнотравных Среднего Урала

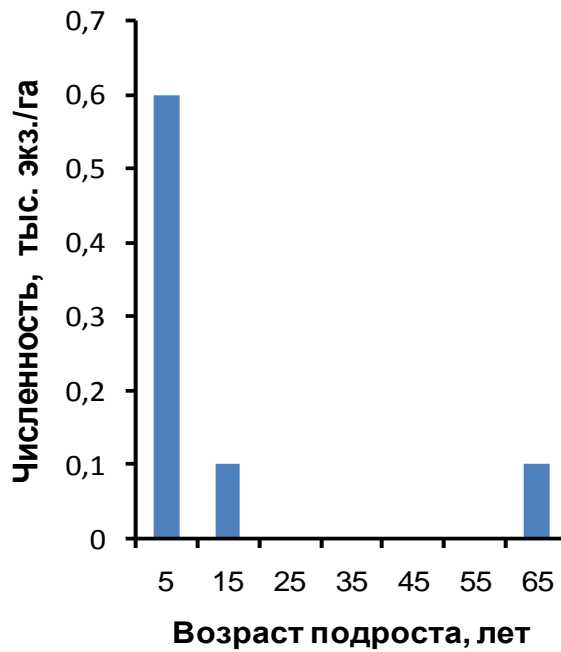


Рисунок 5.19 – Возрастная структура жизнеспособного подроста ели сибирской в 220-летних ельниках-кедровниках хвощево-мшистых Среднего Урала

### 5.3.2. Лесотипологические особенности вырубок и гарей, естественного возобновления древесных растений

В широком диапазоне лесорастительных условий исследованы сплошные вырубки и гары. Основные выявленные типы приведены в таблицах 5.2-5.4. Названия даны по преобладающим видам. Естественное возобновление классифицировалось как обильное, достаточное, редкое и единичное.

В устойчиво-сухих и периодически сухих местообитаниях, как на вырубках, так и на гарях хорошо возобновляется сосна обыкновенная. Березы пушистая и повислая обильны на вырубках, где чаще имеют порослевое происхождение.

Таблица 5.2 – Изученные типы вырубок и гарей устойчиво и периодически сухих местообитаний Зауральской холмисто-предгорной провинции южно-таежного лесорастительного округа (низкогорные и предгорные (200-500 м над ур. м.) типы лесорастительных условий) Среднего Урала

Индекс. Рельеф, почва (особенности и мощность)	Условно-коренной тип леса, шифр	Тип вырубки, возобновление древесных растений	Тип гары, возобновление древесных растений
Устойчиво сухие местообитания			
<b>311</b> Резко очерченные вершины возвышенностей, хорошо инсолированные крутые склоны с маломощными супесчаными и легкосуглинистыми буроземовидными горно-лесными почвами (5-20 см)	Сосняк лишайниково-брусничниковый С лиш. бр.	Вейниково-бруснично-раkitниковые; обильное – сосна, ива; достаточное – береза; редкое – осина, лиственница;	Бруснично-иванчайные, иванчайно-раkitниковые обильное – сосна, ива; редкое – береза, лиственница
Свежие, периодически сухие местообитания			
<b>321</b> Вершины и верхние половины склонов возвышенностей с мелкими горно-лесными слабоподзоленными легкосуглинистыми почвами (5-20 см)	Сосняк брусничниковый С бр.	Вейниковые; обильное – сосна, ива; достаточное – береза; редкое – осина, лиственница	Вейниково-иванчайные; обильное – сосна, ива; редкое – береза, осина, лиственница

В устойчиво-свежих местообитаниях в различных типах вырубок и гарей процессы естественного лесовозобновления различаются в зависимости от экотопа. Обильный подрост сосны обыкновенной отмечен на гарях в сосняках ягодниковых и достаточное его количество на сплошных вырубках в этом типе леса. Наименьшее количество подраста сосны обыкновенной выявлено в липняковых типах леса (ягодниково- и травяно-липняковом). В трех типах вырубок и гарей (в сосняках орляковом и травяно-липняковом и в ельнике-сосняке

зеленомошниково-ягодниковом) можно встретить единичный подрост ели сибирской (таблица 5.3).

Таблица 5.3 – Изученные типы вырубок и гарей устойчиво-свежих местообитаний Зауральской холмисто-предгорной провинции южно-таежного лесорастительного округа (низкогорные и предгорные (200-500 м над ур. м.) типы лесорастительных условий) Среднего Урала

Индекс. Рельеф, почва (особенности и мощность)	Условно-коренной тип леса, шифр	Тип вырубки, возобновление древесных растений	Тип гари, возобновление древесных растений
<b>331</b> Вершины спокойных возвышенностей, пологие склоны со щебнистыми горно-лесными дерново-подзолистыми суглинистыми почвами, реже надпойменные террасы на супесчаном древнем аллювии (20-40 см)	Сосняк ягодниковый С яг.	Вейниковые, раkitниково- вейниковые; достаточное – береза, сосна, ива; редкое – лиственница, осина	Вейниково-иванчайные; обильное – сосна, ива; редкое – береза, осина, лиственница
<b>332</b> Верхние части придолинных склонов и вершины невысоких холмов с горно-лесными буроземовидными слабоподзоленными суглинистыми почвами (20-40 см)	Сосняк ягодниково- липняковый С яг. лп.	Липняково-вейниковые, вейниковые; обильное – липа, ива; достаточное – береза; редкое – сосна, лиственница, осина	Липняково-иванчайные, липняково-иванчайно- вейниковые достаточное – липа, ива, береза; единичное – сосна, лиственница, осина
<b>333</b> Придолинные склоны с неглубокими дерново-подзолистыми суглинистыми почвами с щебнем горных пород (20-40 см)	Ельник-сосняк зеленомошниково- ягодниковый Е-С зл. яг.	Ягодниково- разнотравно-вейниковые, раkitниково- ягодниково-вейниковые; обильное – береза, ива; редкое – сосна, ель, лиственница, осина;	Ягодниково- иванчайные, иванчайно- вейниковые достаточное – береза, сосна, ива; редкое – ель, лиственница, осина;
<b>334</b> Средние и нижние части пологих склонов с дерново-подзолистыми двучленными почвами (супесчаные на суглинистых породах) (более 50 см)	Сосняк орляковый С орл.	Орляково-вейниковые, разнотравно-вейниковые; обильное – ива, береза; единичное – сосна, осина, лиственница, ель	Иванчайно-вейниковые, разнотравно- иванчайные; достаточное – береза, ива; редкое – сосна, единичное – ель, лиственница, осина
<b>335</b> Невысокие водораздельные возвышенности, реже нижние части склонов к небольшим логам с дерново-слабоподзолистыми щебнистыми суглинистыми на основных горных породах (более 50 см)	Сосняк травяно- липняковый С тр. лп.	Вейниково-разнотравно- липняковые; обильное – липа, ива; достаточное – береза; единичное – сосна, ель, пихта, лиственница, осина	Разнотравно- иванчайные, иванчайные; Достаточное – липа, ива редкое – береза; единичное – сосна, ель, пихта, лиственница, осина

Таблица 5.4 – Изученные типы вырубок и гарей свежих, периодически влажных и заболоченных местообитаний Зауральской холмисто-предгорной провинции южно-таежного лесорастительного округа (низкогорные и предгорные (200-500 м над ур. м.) типы лесорастительных условий) Среднего Урала

Индекс. Рельеф, почва (особенности и мощность)	Условно-коренной тип леса, шифр	Тип вырубки, возобновление древесных растений	Тип гари, возобновление древесных растений
<b>341</b> Ровные слегка приподнятые участки водоразделов, пологие склоны с суглинистыми дерново-подзолистыми почвами на суглинистом элювии-делювии горных пород (более 50 см)	Сосняк разнотравный С ртр.	Злаково-разнотравные, вейниковые; обильное – ива; достаточное – береза единичное – сосна, осина, ель, липа;	Разнотравно-иванчайные, иванчайные; редкое – береза, ива; единичное – сосна, ель, лиственница, осина
<b>342</b> Слегка приподнятые участки ровных водоразделов и депрессий с дерново-подзолистыми оглеенными суглинками на водоупоре из плотных пород (более 50 см)	Сосняк с темнохвойным ярусом мшисто-черничниковый С-Тх мш. чер.	Вейниковые, малиново-вейниковые; достаточное – ива, береза, осина; единичное – ель, пихта	Иванчайные, иванчайно-вейниковые; редкое – береза, ива; осина единичное – сосна, ель, пихта
<b>343</b> Дренированные нижние части придолинных склонов, невысокие плоские межболотные гривы	Ельник травяно-зеленомошниковый Е тр. зм.	Разнотравно-вейниковые, Высокотравно-вейниковые достаточное – ива; редкое – береза, осина; единичное – ель, пихта	Иванчайные, иванчайно-вейниковые; редкое – береза, ива; осина единичное – сосна, ель, пихта
<b>361</b> Дренированные шлейфы придолинных склонов	Сосняк-ельник разнотравно-высокотравный	Высокотравные; редкое – ива, береза, осина; единичное – ель, пихта	Высокотравно-иванчайные редкое – ива, береза, осина; единичное – ель, пихта

В периодически влажных и заболоченных местообитаниях во всех типах и вырубок, и гарей сосна обыкновенная в подросте встречается лишь единично. Подрост ели сибирской в этих лесорастительных условиях отмечен во всех типах вырубок и гарей. Кроме того, на вырубках и гарях ельников травяно-зеленомошниковых и сосняков-ельников разнотравно-высокотравных единично встречается подрост пихты сибирской. Осина в подросте в этих лесорастительных условиях распространена больше, чем в более сухих местообитаниях, а лиственница, напротив, встречается крайне редко.



### 5.3.3. Сравнительный анализ динамики процессов естественного возобновления сосны и березы на сплошных вырубках и гарях

Интересный результат дал сравнительный анализ количества подроста сосны обыкновенной и берез (пушистой и повислой) на почвах различной мощности. Исследованы трех – пятилетние вырубки и гари.

Выявлена корреляция плотности подроста сосны обыкновенной от мощности почвенного профиля. Установлено, что во всем топоэкологическом профиле густота подроста сосны обыкновенной на гарях превосходит, ее на вырубках, а с увеличением мощности почв плотность подроста сосны обыкновенной быстро снижается как на вырубках, так и на гарях. Наиболее благоприятные условия для возобновления сосны при мощности почв десять – тридцать см (что соответствует брусничниковому и ягодниковому типам) (Рисунок 5.20).

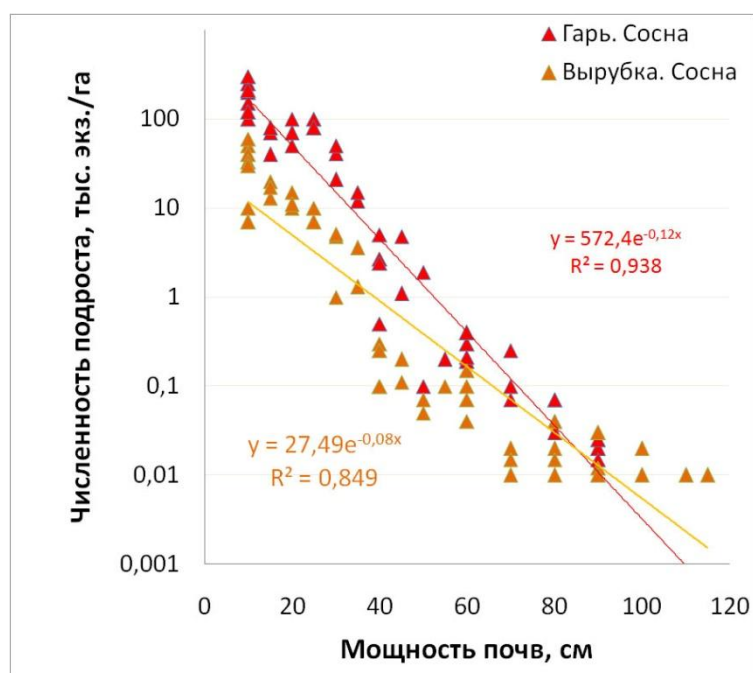


Рисунок 5.20 – Зависимость густоты подроста сосны на гарях и вырубках от мощности почв Среднего Урала

Выявлена корреляция общей густоты подроста березы пушистой и повислой с мощностью почв на сплошных вырубках и гарях. Установлено, что подрост березы на вырубках превосходит по густоте подрост на гарях. Наиболее благоприятными условиями для возобновления березы являются ягодниковый и орляковый типы (почвы глубиной двадцать – шестьдесят см) (Рисунок 5.21).

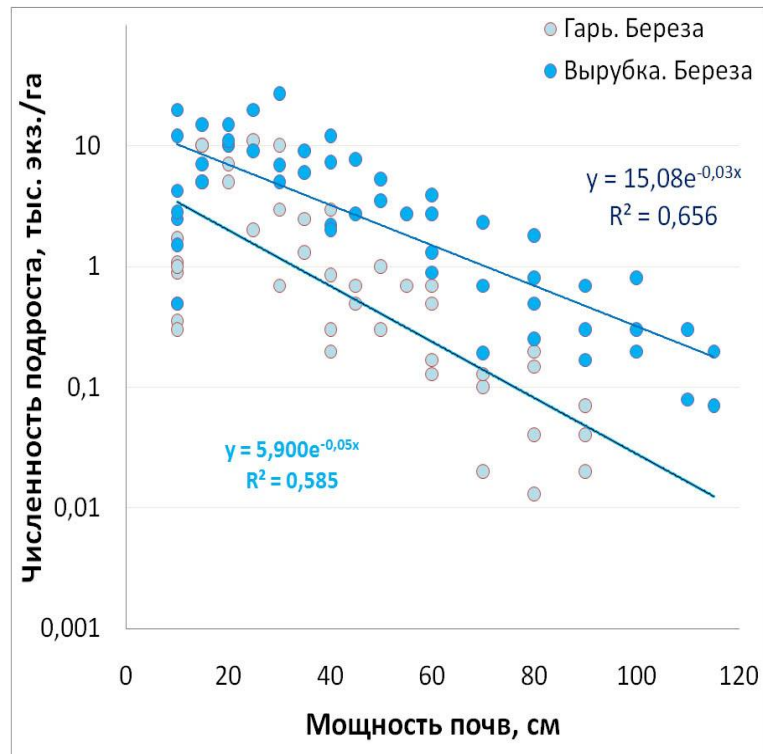


Рисунок 5.21 – Зависимость густоты подроста березы на гарях и вырубках от мощности почв Среднего Урала

Как показали результаты исследований, мощность почв оказывает влияние на соотношение сосны и березы в подросте на гарях и вырубках. После пожаров на мелких почвах в подросте преобладает сосна обыкновенная. Эти условия соответствуют брусничниковому и ягодниковому типам. На мощных почвах преобладает подрост березы. Критическая мощность почв (когда численности сосны и березы равны) 65-70 см (Рисунок 5.22). После сплошных рубок преобладание в подросте сосны возможно лишь в брусничниковом типе леса. Критическая мощность почв 10-20 см (Рисунок 5.23).

Таким образом, мощность почвы является значимым фактором, определяющим сукцессионную динамику после сплошных рубок и пожаров. Этот вывод хорошо согласуется с данными полученными для других регионов и других древесных растений (Nilsson, Wardle, 2005; Tsuyuzaki et al., 2014; Whitman et al., 2018). Кроме того, полученные нами результаты свидетельствуют о том, что сохранение почв от эрозии и других нарушений будет способствовать естественным восстановительно-возрастным сменам и сохранению биоразнообразия лесной растительности. Этот вывод также находит широкое подтверждение в литературе (Boiffin et al., 2015; Fourier et al., 2015; Gibson et al., 2016; Day et al., 2017).

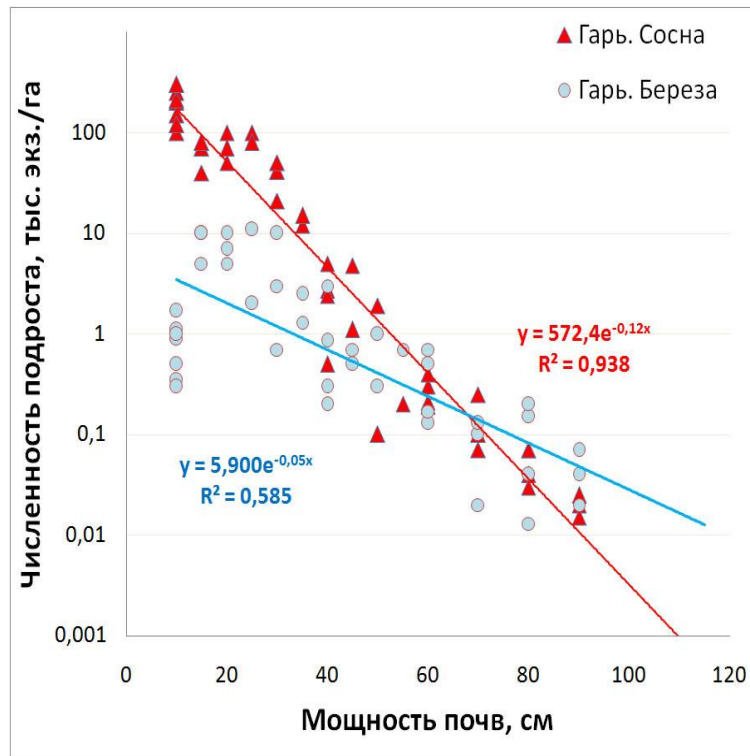


Рисунок 5.22 – Зависимость соотношения сосны и березы в подросте на гарях от мощности почв на Среднем Урале

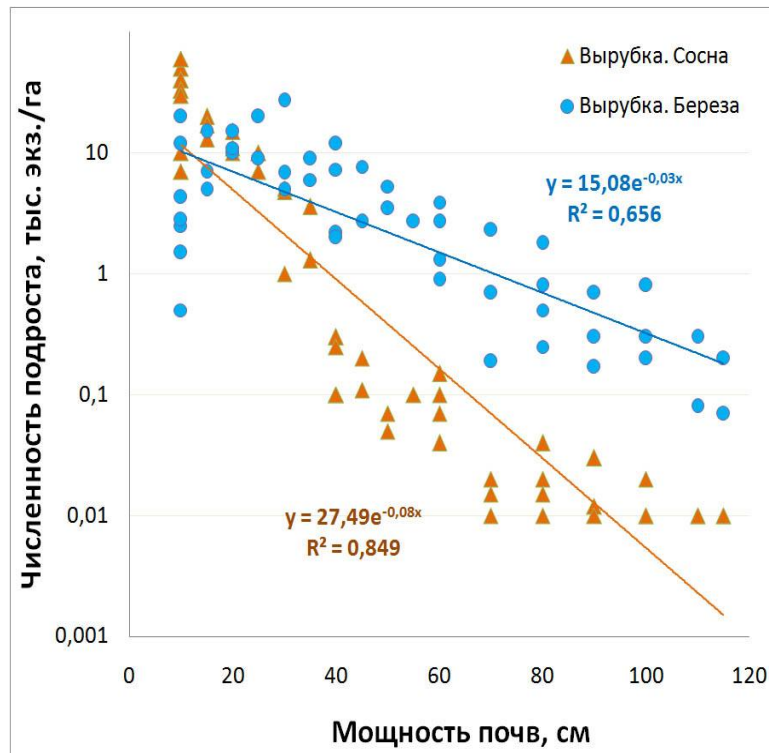


Рисунок 5.23 – Зависимость соотношения сосны и березы в подросте на вырубках от мощности почв на Среднем Урале

## Выводы

1. Проведено широкомасштабное исследование процессов естественного возобновления ели сибирской, пихты сибирской и сосны обыкновенной под пологом древостоев, на сплошных вырубках и гарях в широком спектре лесорастительных условий западных низкогорий Южного Урала и Зауральской холмисто-предгорной провинции Среднего Урала. Получены данные о численности и жизненности подроста. Выявлено, что в западных низкогорьях Южного Урала в составе подроста преобладает пихта сибирская, а наиболее редко встречается подрост сосны обыкновенной, в Зауральской холмисто-предгорной провинции, напротив, наиболее обычным древесным видом хвойных растений в подросте является сосна обыкновенная, а пихта сибирская встречается наиболее редко.

2. Впервые для лесов Урала выявлены особенности возрастной структуры подроста древесных растений под пологом лесов в преобладающих типах леса. Для западных низкогорий Южного Урала в условно-коренных ельниках и различных вариантах экодинамических рядов формирования темнохвойных лесов (под воздействием выпаса, пожаров, после зимних рубок) выявлена устойчивость появления новых поколений ели сибирской и пихты сибирской, что свидетельствует о сохранении способности к самовосстановлению численности и структуры ценопопуляций ели сибирской и пихты сибирской в темнохвойных лесах, следовательно, сохраняется и способность к авторегуляции динамики лесного фитоценоза, что способствует его устойчивому развитию. Проведенные исследования в коротко-производных березняках доказали возникновение значимых отклонений в появлении новых поколений ели и пихты: в первые годы после сплошных рубок новые экземпляры темнохвойного подроста не появляются, присутствуют лишь молодые деревья, которые выжили в процессе лесозаготовок; позднее по мере увеличения эдификаторной роли темнохвойных видов появляются новые поколения, начинает возвращаться разновозрастность подроста, но непрерывным процесс не становится долгое время. В длительно-производных березняках возрастная структура темнохвойного подроста трансформирована на протяжении более ста лет: появление новых поколений происходит с перебоями. Имеющиеся отдельные деревья ели сибирской создают ресурс семян. Восстановительные сукцессии требуют более ста лет. В случае формирования устойчиво-производных осинников восстановление коренных темнохвойных лесов растягивается на неопределенный срок, что в сочетании с широким распространением устойчиво-производных осинников (занимают 25 % площадей) серьезно подрывает позиции темнохвойных лесов в данном регионе.

3. В условно-коренных сосновых лесах Зауральской холмисто-предгорной провинции естественное возобновление древесных растений зависит от типа леса. Наиболее обильное естественное возобновление сосны обыкновенной выявлено в сосняках брусничниковых и

ягодниковых, наиболее обильное естественное возобновление ели сибирской – в ельниках-сосняках зеленомошничково-ягодниковых. Подрост как ели сибирской, так и сосны обыкновенной в этих типах леса является разновозрастным. На открытых местообитаниях наиболее благоприятные условия для естественного возобновления складываются в брусничниковом типе леса. С увеличением мощности почв плотность подроста сосны обыкновенной быстро снижается как на вырубках, так и на гарях. При этом всем топоэкологическом профиле густота подроста сосны обыкновенной на гарях больше чем на вырубках. Мощности почв оказывает также влияние на соотношение сосны и березы в подросте на гарях и вырубках. После пожаров на мелких почвах в подросте преобладает сосна обыкновенная, на мощных почвах – подрост березы. После сплошных рубок преобладание в подросте сосны возможно лишь в брусничниковом типе леса.

## **Глава 6. Влияние сплошных рубок и пожаров на дивергенцию фитоценозов в пределах типов горных лесов Южного и Среднего Урала**

### **6.1. Гипотезы дивергенции и конвергенции экодинамических рядов формирования лесных фитоценозов**

Несмотря на многочисленные публикации по проблемам сохранения биоразнообразия лесов Урала (Maiti et al., 2009, 2014; Миркин, Наумова, 2012; Иванова, Золотова, 2013; Mirkin, Ермаков, 2010), лесовосстановления (Исаева, Луганский, 1975; Теринов и др., 2012), продуктивности (Усольцев, 1997; Залесов, 2002), восстановительно-возрастной динамики лесов (Кузьменко, Смолоногов, 2000; Иванова и др., 2000; Мартыненко и др., 2007; Shirokikh, Martynenko, 2009; Ivanova, Zolotova, 2011, 2013; Ivanova, 2014) остается много нерешенных вопросов. Отсутствует надежное понимание механизмов дигрессивно-демутационных сукцессий и поддержания стабильного состояния, что затрудняет разработку природоохранных мероприятий, лесовосстановление и устойчивое лесопользование.

Нами на основе полученных результатов выдвигается три гипотезы:

**Гипотеза 1.** Расхождение направлений восстановительно-возрастной динамики в зависимости от деструктивного воздействия (его типа и интенсивности) и образование в пределах коренного типа леса различных фитоценозов, которые представляют собой сукцессионные стадии в различных рядах их восстановления.

Основными задачами является исследование особенностей нарушений, масштаба изменений биоразнообразия и структуры, синхронности динамики эдификатора и подчиненных ярусов.

**Гипотеза 2.** Сближение направлений восстановительно-возрастной динамики и возврат к исходному (коренному) состоянию. В рамках гипотезы исследуются следующие основные проблемы: как сказываются произошедшие трансформации состава и строения фитоценозов на возможность восстановления исходных лесов; какую интенсивность нагрузок могут выдерживать фитоценозы без потери устойчивости; сколько требуется времени для того, чтобы структура коренных лесов восстановилась и как темпы восстановления зависят от интенсивности экзогенных факторов.

**Гипотеза 3.** В изначально различных типах леса сходные внешние воздействия приводят к формированию сходных растительных сообществ со сходными тенденциями восстановительной динамики, а различия между коренными лесами снижаются. Исследуется проблема зависимости уровня конвергенции от вида и интенсивности внешнего воздействия.

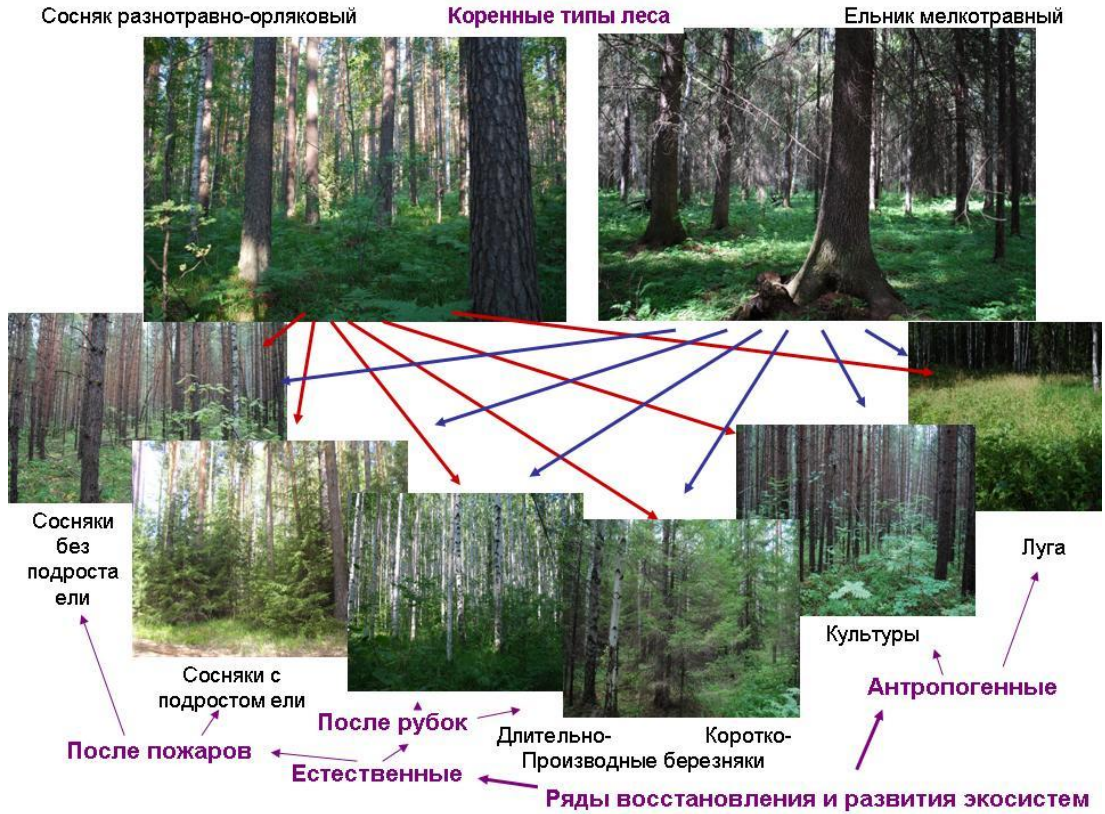


Рисунок 6.1 – Гипотеза дивергенции и конвергенции лесной растительности в горах Урала

## 6.2. Дивергенция эколого-динамических рядов формирования лесных фитоценозов в западных низкогорьях Южного Урала

В главе 4 диссертационной работы описано биоразнообразие горных лесов Южного Урала. Наиболее широко представленным и продуктивным по нашим данным можно считать ельники мелкотравно-зеленомошные, которые произрастают в нижних частях пологих склонов. Эти еловые леса были выбраны нами в качестве основных объектов для исследования особенностей дифференциации растительности под воздействием сплошных рубок на Южном Урале. Исследованиями охвачены (таблица 6.1): субкоренные ельники (их возраст составляет сто сорок – сто шестьдесят лет), послерубочные ельники и пихтарники (возраст варьирует от пятидесяти до семидесяти лет), коротко-производные березняки (возраст изученных фитоценозов составляет пять, двадцать, восемьдесят и сто лет), длительно-производные березняки (их возраст: двадцать, пятьдесят и сто лет) и устойчиво-производные осинники (восьми летние, двадцатилетние, шестидесяти пятилетние и сто десятилетние древостои).

Таблица 6.1 – Древесный ярус исследованных темнохвойных лесов и коротко-производных березняков Южного Урала (по данным Г.В. Андреева (2005))

Пробная площадь (ПП), №	Условно-коренные ельники		После рубочные и пирогенные темнохвойные леса			Коротко-производные березняки			
	1–4	5–8	9–12	13–17	18–25	26–29	30–33	34–37	38–41
Возраст основного поколения, лет	160	140	50	65	70	5	20	80	100
Абсолютная полнота, м <sup>2</sup> /га	32,7	23,4	19,3	28,4	20,8	-	16,1	28,2	35,7
Участие в составе древостоя, %:	80	30	50	30	40	-	+	30	50
<i>Picea obovata</i> Ledeb.									
<i>Abies sibirica</i> Ledeb.	10	50	50	30	+	-	30	20	10
<i>Pinus sylvestris</i> L.	-	-	+	20	30	-	10	10	-
<i>Betula pubescens</i> Ehrh.	+	20	+	20	30	-	60	40	40

Примечание: + вид встречается единично.

Видовое разнообразие травяно-кустарничкового яруса. В изучаемых условно-коренных темнохвойных лесах выявлено два – три вида в древостое (таблица 6.1-6.2) и 33-40 видов в травяно-кустарничковом ярусе. Сплошные рубки изменяют уровень альфа разнообразия во всех ярусах фитоценоза. В большинстве случаев происходит возрастание числа видов. В целом рубки



приводят к следующим трансформациям:

1. Отсутствие синхронности в изменении альфа разнообразия древостоя и почвенного покрова. В качестве примера можно привести послепожарный ельник, в котором отмечено наибольшее количество видов в древостое (4 вида) и послерубочный ельник, подверженный незначительному выпасу, который лидирует по альфа разнообразию нижних ярусов (семьдесят пять видов).
2. Если провести сравнение послерубочных фитоценозов, то наиболее высокие показатели альфа разнообразия отмечаются в темнохвойных лесах и коротко-производных березняках.
3. Альфа разнообразие длительно- и устойчиво-производных фитоценозов близко к таковому в условно-коренных лесах и составляет 42-54 вида.

Таблица 6.2 – Древесный ярус исследованных производных фитоценозов Южного Урала (по данным Г.В. Андреева (2005))

	Длительно-производные березняки				Устойчиво-производные осинники			
	42–45	46–49	50–53	56–57	58–61	62–65	66–69	70–72
Пробная площадь (ПП), №	42–45	46–49	50–53	56–57	58–61	62–65	66–69	70–72
Возраст основного поколения, лет	20	35	50	100	8	20	65	110
Абсолютная полнота, м <sup>2</sup> /га	5,4	18,5	29,5	20,7	-	-	28,3	28,4
Участие в составе древостоя, %:								
<i>Picea obovata</i> Ledeb.	10	10	10	10	-	+	-	+
<i>Abies sibirica</i> Ledeb.	+	+	-	-	-	10	10	+
<i>Pinus sylvestris</i> L.	-	-	+	20	-	-	-	-
<i>Betula pubescens</i> Ehrh.	90	90	90	70	-	10	10	10
<i>Populus tremula</i> L.	-	-	-	+	-	80	80	90

Примечание: + вид встречается единично.

Проективное покрытие мхов. В субкоренных ельниках моховой ярус имеет покрытие 65-85 процентов. Сплошные рубки приводят к разрушению сомкнутого мохового покрова. Его покрытие снижается во всех изученных послерубочных фитоценозах. Для темнохвойных лесов значения проективного покрытия мхов колеблются от 0,5 до 32 процентов (что соответствует разнице в два с половиной – пятнадцать раз по отношению к субкоренным лесам). В наибольшей степени этот показатель варьирует в коротко-производных березняках. Под их пологом обилие мхов находится в прямой зависимости от стадии восстановления древостоя и варьирует в пределах от одного до тридцати процентов (то есть изменяется в два с половиной – десять раз). Длительно-производные березняки отличаются наличием небольших моховых куртинок, площадь которых не превышает двух процентов. В устойчиво-производных осинниках мхи встречаются лишь единично и покрывают менее одной десятой процента

площади.

Проективное покрытие трав и кустарничков. Сплошные рубки в большинстве случаев способствуют повышению проективного покрытия трав. В субкоренных ельниках травы и кустарнички покрывают около двадцати процентов площади, в послерубочных темнохвойных лесах – от двадцати до пятидесяти процентов. В первые годы после рубки густота травяно-кустарничкового яруса быстро возрастает, который становится сомкнутым. Лишь под пологом крон сохранившихся елей его покрытие остается незначительным. Разреживание травяного покрова происходит постепенно и в столетних березняках составляет не более тридцати процентов.

В длительно-производных березняках проективное покрытие травянистого яруса стабильно поддерживается на высоком уровне. Его снижение крайне медленное и к столетнему возрасту древостоев составляет не менее пятидесяти процентов. В устойчиво-производных осинниках травянистый покров характеризуется как густой высокотравный на всем протяжении их формирования.

Отношение проективного покрытия мхов к проективному покрытию трав. Среди всех характеристик самым чувствительным к экзогенным деструктивным факторам по нашим данным можно считать отношение проективного покрытия мхов к проективному покрытию трав (Иванова, 2000). Для близких к коренным ельникам данный относительный показатель варьирует от трех с половиной до четырех, для молодых темнохвойных лесов он составляет две – восемь десятых, что соответствует различиям между субкоренными ельниками и молодыми темнохвойными лесами в пять – триста раз. Различия между субкоренными ельниками и коротко-производными березняками еще больше и варьируют в пределах от четырех до четырехсот раз, для длительно-производных березняков различия еще более увеличиваются (до трех тысяч раз), а для устойчиво-производных осинников до четырех тысяч раз.

Общая фитомасса трав и кустарничков. В изученных горных лесах Южного Урала общая продуктивность травяно-кустарничкового яруса может принимать значения от двадцати четырех до двухсот тридцати грамм на квадратный метр в абсолютно-сухом состоянии. Проведенные исследования выявили, что субкоренные ельники характеризуются достаточно низкой продуктивностью травяно-кустарничкового яруса, в июле месяце фитомасса трав и кустарничков не превышает  $40 \text{ г/м}^2$  в абсолютно-сухом состоянии. Сплошные рубки инициируют большие изменения в травянистом покрове, в том числе и в интенсивности накопления фитомассы. Послерубочные темнохвойные леса не являются исключением, фитомасса трав под их пологом изменяется в пределах  $54\text{-}80 \text{ г/м}^2$ . В коротко-производных березняках фитомасса может оставаться на прежнем уровне, особенно в куртинах сохраненного

подроста, либо увеличиваться вплоть до 97 г/м<sup>2</sup>. Длительно-производные березняки показывают тенденцию стабильного увеличения фитомассы до 55-97 г/м<sup>2</sup>. В этих двух рядах с увеличением возраста древостоя фитомасса травяно-кустарничкового яруса снижается. Устойчиво-производные осинники демонстрируют устойчивую тенденцию увеличения продуктивности. Фитомасса травяно-кустарничкового яруса под их пологом может возрастать до значений превышающих 200 г/м<sup>2</sup>.

Фитомасса злаковых и осоковых видов трав. Различия между субкоренными и производными фитоценозами хорошо видны по такому простому показателю как доля злаковых и осоковых, которые играют роль задернителей и затрудняют появление и выживание всходов древесных растений, поэтому знать их количество необходимо. В субкоренных фитоценозах их процент в общей фитомассе яруса трав не превосходит восемнадцати. В молодых темнохвойных лесах их доля может составлять от тридцати до восьмидесяти пяти процентов, причем максимально увеличивают их процент пожары. Для лиственных фитоценозов характерен высокий процент данной группы растений. Наиболее долго свое господство злаки и осоки поддерживают в длительно-производных фитоценозах. Самым распространенным является вейник тростниковый. Его участие среди злаковых и осоковых может подниматься до девяноста девяти процентов. Вторым по распространению является коротконожка перистая. Из осоковых наибольшее распространение отмечено у осоки волосистой.

Динамика видов. Из таблицы 6.3 хорошо видно как изменяется состав фитоценозов в зависимости от формирующегося древостоя. В субкоренных ельниках преобладают различные папоротники и таежное мелкотравье. В производных фитоценозах чаще доминирует вейник или коротконожка.

Доминирующим видом с характерной динамикой является вейник тростниковый (таблицы 6.3, 6.4). Его динамика имеет свою специфику в различных рядах восстановления. В молодых темнохвойных фитоценозах фитомасса этого вида больше в три – четыре раза, чем в субкоренных лесах. В коротко-производных березняках прослеживается зависимость от давности рубки: наибольшие показатели отмечены в первые десять лет после рубки, в то время как минимум зафиксирован на средних этапах восстановительных смен. В длительно-производных березняках динамика фитомассы вейника имеет коренные отличия: максимум фитомассы выявлен на средних этапах их формирования, а минимум на заключительных. В устойчиво-производных осинниках *Calamagrostis arundinacea* поддерживает высокую продуктивность более ста лет.

Таблица 6.3 – Доминирующие виды травяно-кустарничкового яруса условно-коренных и производных фитоценозов нижних частей склонов Южного Урала

№ ПП	Ранг 1	Ранг 2	Ранг 3	Ранг 4	Ранг 5
1-4	<i>Lycopodium clavatum</i> L.	<i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth	<i>Ajuga reptans</i> L.	<i>Dryopteris expansa</i> (C. Presl) Fraser-Jenkins & Jermy	<i>Equisetum sylvaticum</i> L.
5-8	<i>Equisetum sylvaticum</i> L.	<i>Athyrium filix-femina</i> (L.) Roth	<i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth	<i>Lycopodium annotinum</i> L.	<i>Lycopodium clavatum</i> L.
9-12	<i>Ajuga reptans</i> L.	<i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth	<i>Carex pilosa</i> Scop.	<i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) Beauv.	<i>Rubus saxatilis</i> L.
13-17	<i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth	<i>Carex pilosa</i> Scop.	<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	<i>Veratrum lobelianum</i> Bernh.	<i>Succisa pratensis</i> Moench
18-25	<i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim.	<i>Carex pilosa</i> Scop.	<i>Aconitum septentrionale</i> Koelle	<i>Carex rhizina</i> Blytt ex Lindbl.	<i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth
26-29	<i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth	<i>Phalaroides arundinacea</i> (L.) Rauschert	<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth	<i>Carex pallescens</i> L.	<i>Bistorta major</i> S.F. Gray
30-33	<i>Carex pilosa</i> Scop.	<i>Rubus saxatilis</i> L.	<i>Brachypodium pinnatum</i> (L.) Beauv.	<i>Geranium sylvaticum</i> L.	<i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth
34-37	<i>Dryopteris filix-mas</i> (L.) Schott	<i>Brachypodium pinnatum</i> (L.) Beauv.	<i>Ajuga reptans</i> L.	<i>Prunella vulgaris</i> L.	<i>Asarum europaeum</i> L.
38-41	<i>Stellaria bungeana</i> Fenzl	<i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth	<i>Aconitum septentrionale</i> Koelle	<i>Milium effusum</i> L.	<i>Circaea alpina</i> L.
42-45	<i>Brachypodium pinnatum</i> (L.) Beauv.	<i>Carex pilosa</i> Scop.	<i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth	<i>Festuca gigantea</i> (L.) Vill.	<i>Aegopodium podagraria</i> L.
46-49	<i>Carex pilosa</i> Scop.	<i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth	<i>Brachypodium pinnatum</i> (L.) Beauv.	<i>Stachys officinalis</i> (L.) Trevis.	<i>Aegopodium podagraria</i> L.
50-53	<i>Brachypodium pinnatum</i> (L.) Beauv.	<i>Carex pilosa</i> Scop.	<i>Aconitum septentrionale</i> Koelle	<i>Aegopodium podagraria</i> L.	<i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth
56-57	<i>Carex pilosa</i> Scop.	<i>Carex pallescens</i> L.	<i>Aconitum septentrionale</i> Koelle	<i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth	<i>Stellaria holostea</i> L.
58-61	<i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth	<i>Geum rivale</i> L.	<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth	<i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim.	<i>Bistorta major</i> S.F. Gray
62-65	<i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth	<i>Brachypodium pinnatum</i> (L.) Beauv.	<i>Aconitum septentrionale</i> Koelle	<i>Carex pilosa</i> Scop.	<i>Pulmonaria obscura</i> Dumort.
66-69	<i>Aconitum septentrionale</i> Koelle	<i>Stachys sylvatica</i> L.	<i>Dryopteris filix-mas</i> (L.) Schott	<i>Stellaria bungeana</i> Fenzl	<i>Crepis paludosa</i> (L.) Moench
70-72	<i>Aconitum septentrionale</i> Koelle	<i>Stachys sylvatica</i> L.	<i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth	<i>Geum rivale</i> L.	<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth

Примечание: Номера пробных площадей как в таблицах 6.1-6.2

Таблица 6.4 – Продуктивность наиболее обильных видов травяно-кустарничкового яруса условно-коренных и производных фитоценозов нижних частей склонов Южного Урала

№ ПП	Ранг 1		Ранг 2		Ранг 3		Ранг 4		Ранг 5	
	М, г/м <sup>2</sup>	Cv	М, г/м <sup>2</sup>	Cv	М, г/м <sup>2</sup>	Cv	М, г/м <sup>2</sup>	Cv	М, г/м <sup>2</sup>	Cv
1-4	13,62	123	5,98	206	2,38	164	2,22	224	2,10	218
5-8	12,54	169	6,9	346	5,51	177	4,33	225	4,11	204
9-12	3,32	121	2,77	131	2,67	98	2,6	214	2,17	166
13-17	20,75	152	11,47	141	5,14	204	2,59	348	2,45	224
18-25	32,64	10	17,45	140	5,11	140	3,86	205	1,22	117
26-29	35,30	80	17,62	205	11,54	357	6,50	288	4,34	183
30-33	13,90	87	5,12	144	5,06	94	3,5	229	2,2	177
34-37	3,44	310	2,42	369	2,36	110	2,34	122	2,34	203
38-41	8,58	165	6,68	199	3,71	277	2,44	295	2,44	228
42-45	35,47	76	8,77	93	8,22	167	5,17	168	4,86	68
46-49	35,85	49	17,63	92	4,47	173	2,93	185	2,51	112
50-53	7,55	120	6,29	100	3,50	22	2,11	138	2,01	224
56-57	21,38	125	12,76	180	8,30	224	2,99	165	2,16	36
58-61	17,79	106	16,28	92	14,47	165	13,01	76	11,63	112
62-65	18,20	84	9,92	113	6,90	248	4,86	175	3,84	146
66-69	32,99	99	30,18	176	10,68	400	10,59	63	9,56	132
70-72	32,44	112	22,89	97	22,82	206	22,16	147	19,68	183

Примечание: М – надземная фитомасса в абсолютно-сухом состоянии, Cv – коэффициент вариации

Коротконожка перистая и осока волосистая также широко распространены в производных лесах. Преобладание в структуре травяно-кустарничкового яруса начинается с двадцати лет после сплошной рубки как для коротко-, длительно-производных березняков, так и устойчиво-производных осинников. Для ельников, возникших после рубок и пожаров, также отмечается повышенная фитомассой этих двух видов растений по сравнению с субкоренными ельниками.

В устойчиво-производных осинниках в структуре фитомассы преобладают (таблицы 6.3, 6.4) виды высокотравья.

Ранговые распределения обилий видов. Наиболее наглядно отражают видовую структуру ранговые распределения обилий видов (Species abundance distributions (SADs) (Пузаченко, 2016; Guerin et al., 2017). Обнаружено (Левич, 1980), что для коренных (ненарушенных) экосистем параметр данного распределения имеет определенный размах значений и специфичен для определенного экотопа. Внешние воздействия приводят к исчезновению или инвазии видов, изменению их участия в структуре, но ранговое

распределение стремится остаться стабильным. Разумеется, что есть предел этой устойчивости, когда экосистема уже не способна поддерживать оптимальное соотношение видов. Поэтому их изменение может выступать в качестве индикатора состояния (Левич, 1980). Мы построили и проанализировали ранговые распределения надземной фитомассы видов травяно-кустарничкового яруса для субкоренного ельника, коротко- и длительно-производных березняков 20-35-летнего возраста, устойчиво-производных осинников 20-летнего возраста. Выявлено, что ранговое распределение для субкоренного ельника лучше аппроксимируется степенной функцией и соответствует распределению Ципра-Парето (рисунок 6.2).

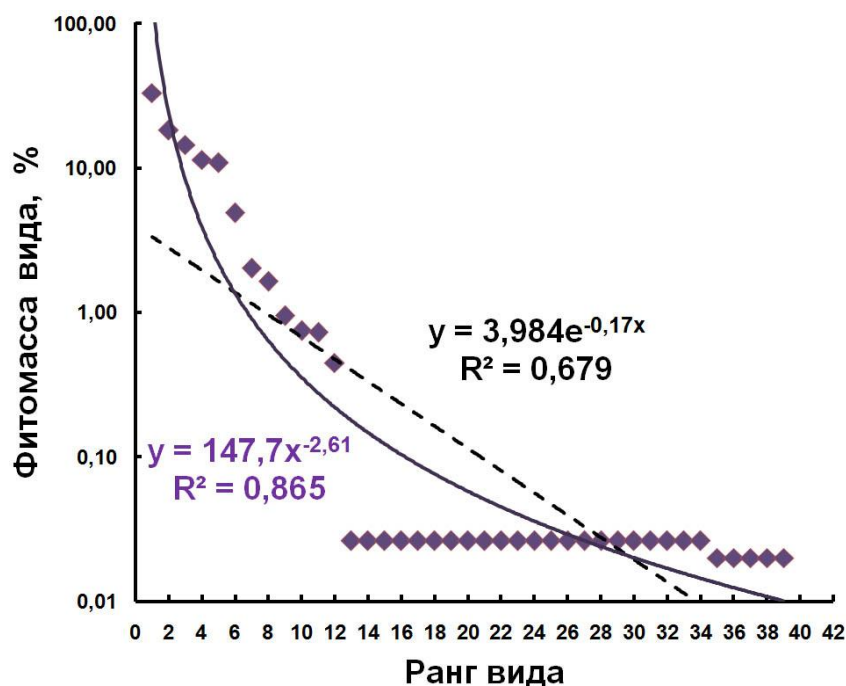


Рисунок 6.2 – Ранговые модели надземной фитомассы видов травяно-кустарничкового яруса в ельниках мелкотрано-зеленомошных 140-летнего возраста в Западных низкогорьях Южного Урала: точки – фитомасса видов (%), сплошная линия – аппроксимирующая степенная функция, пунктирная линия – аппроксимирующая экспоненциальные функция

Анализ ранговых распределений фитомассы видов травяно-кустарничкового яруса производных лесов выявил, что сплошные рубки приводят не только к изменению параметра аппроксимирующей функции (уменьшению для всех изученных производных лесов в случае аппроксимации степенной функцией), но и к изменению самого закона рангового распределения. Все изученные производные леса лучше описываются экспоненциальной функцией ( $R^2$  больше 0,91), что соответствует распределению Гиббса-Мотомуры (рисунки 6.3-6.5).

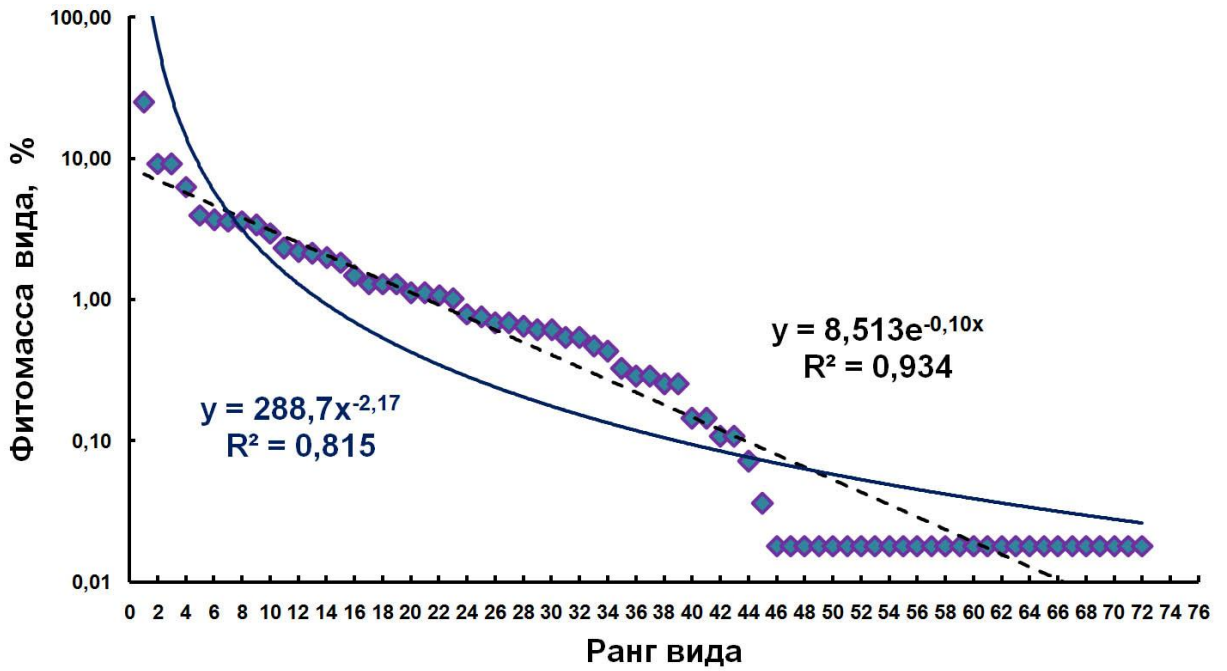


Рисунок 6.3 – Ранговые модели надземной фитомассы видов травяно-кустарничкового яруса в коротко-производных березняках 20-летнего возраста в Западных низкогорьях Южного Урала: точки – фитомасса видов (%), сплошная линия – аппроксимирующая степенная функция, пунктирная линия – аппроксимирующая экспоненциальные функция

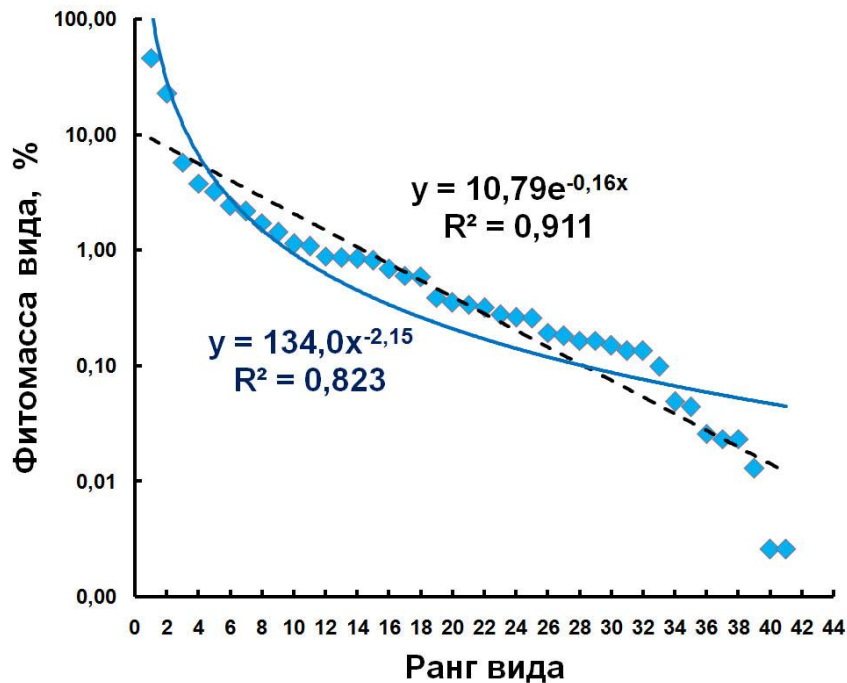


Рисунок 6.4 – Ранговые модели надземной фитомассы видов травяно-кустарничкового яруса в длительно-производных березняках 35-летнего возраста в Западных низкогорьях Южного Урала: точки – фитомасса видов (%), сплошная линия – аппроксимирующая степенная функция, пунктирная линия – аппроксимирующая экспоненциальные функция

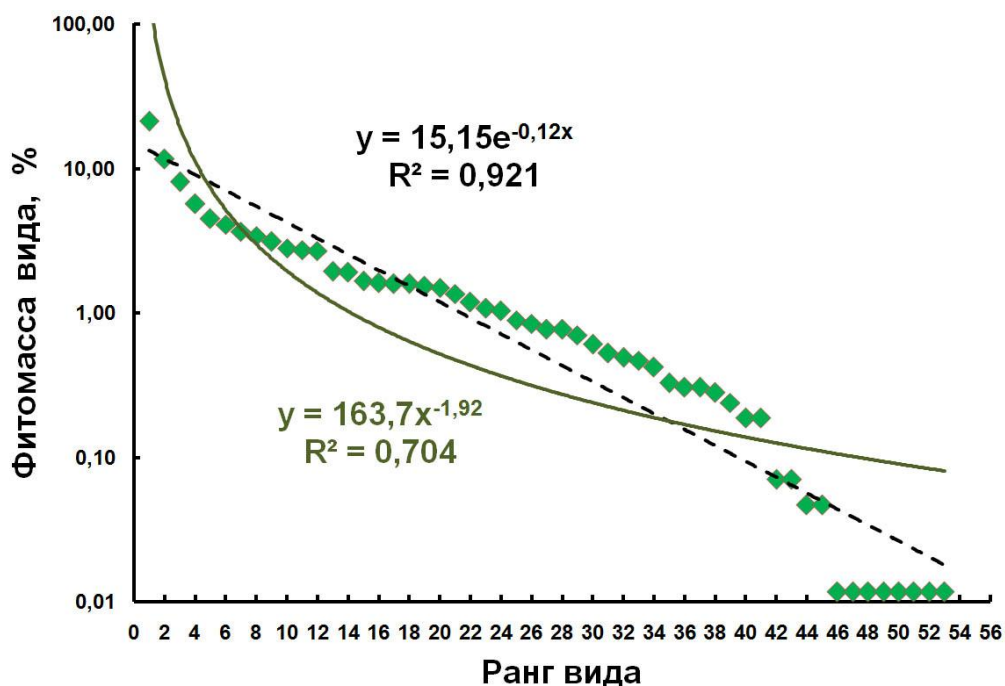


Рисунок 6.5 – Ранговые модели надземной фитомассы видов травяно-кустарничкового яруса в устойчиво-производных осинниках 20-летнего возраста в Западных низкогорьях Южного Урала: точки – фитомасса видов (%), сплошная линия – аппроксимирующая степенная функция, пунктирная линия – аппроксимирующая экспоненциальные функция

Аппроксимация степенной функцией дает значительно худшие результаты:  $R^2$  меньше 0,83. Считается, что распределение Гиббса-Мотомуры реализуется при линейной зависимости видов экосистемы от ресурса, а распределение Ципра-Парето при логарифмической зависимости (Шитиков и др., 2011).

Понять причины смен ранговых распределений помогает рассмотрение динамики синузальной структуры лесов после сплошных рубок. В таблице 6.5 дается описание наиболее часто встречающихся микрогруппировок. Зеленомошная, зеленомошно-мелкотравная, мертвопокровная и крупнопоротниковая являются коренными, вейниково-волосистоосоковая, высокотравная, разнотравно-злаковая, наземнойвейниковая и двукисточниковая – производными. Синузии тесно связаны с неоднородностью полога древостоя и отчетливо разделяются на две группы: в еловых куртинах и в окнах полога древостоя. В еловых куртинах отмечены зеленомошные, зеленомошно-мелкотравные и мертвопокровные синузии (таблица 6.6), которые можно отнести к категории коренных. Данные синузии преобладают по площади. В окнах полога древостоя выделены вейниково-волосистоосоковые и крупнопоротниковые синузии. Доля в составе фитоценоза около 10 процентов. Возвращаясь к особенностям ранговых распределений можно сделать вывод, что «хвост» из мало обильных видов соответствует растениям окон полога, которые занимают



небольшую площадь.

Таблица 6.5 – Доминирующие и характерные виды синузий травяно-кустарничкового яруса субкоренных и производных лесов в западных низкогорьях Южного Урала

Название синузии	Характеристика синузии	Доминирующие и характерные виды
Зеленомошная	Синузии субкоренных ельников. Сплошной моховой покров мощностью 2-6 см. Травяно-кустарничковый ярус разрежен. Проективное покрытие не превышает 10 %.	<i>Pleurozium schreberi.</i> , <i>Hylocomium splendens</i> , <i>Dicranum sp.</i> , <i>Vaccinium myrtillus</i> , <i>Lycopodium annotinum</i> , <i>L. clavatum</i> , <i>Equisetum sylvaticum</i> , <i>Oxalis acetosella</i> . <i>Majanthemum bifolium</i> , <i>Oxalis acetosella</i> , <i>Trientalis europaea</i>
Зеленомошно-мелкотравная	При сходном с зеленомошными синузиями флористическим составом их отличает отсутствие сплошного мохового покрова. Преобладает таежное мелкотравье.	<i>Vaccinium myrtillus</i> , <i>Lycopodium annotinum</i> , <i>L. clavatum</i> , <i>Equisetum sylvaticum</i> , <i>Oxalis acetosella</i> , <i>Majanthemum bifolium</i> , <i>Oxalis acetosella</i> , <i>Trientalis europaea</i> , <i>Solidago virgaurea</i> , <i>Ajuga reptans</i> , <i>Veronica chamaedrys</i> , <i>Asarum europaeum</i>
Мертвопокровная	Формируются под густым пологом крон темнохвойных деревьев. Отличительная черта: отсутствие мохового покрова и крайне разреженный травяно-кустарничковый покров, который состоит, главным образом, из видов таежного мелкотравья.	<i>Vaccinium myrtillus</i> , <i>Lycopodium annotinum</i> , <i>L. clavatum</i> , <i>Equisetum sylvaticum</i> , <i>Oxalis acetosella</i> , <i>Majanthemum bifolium</i> , <i>Oxalis acetosella</i> , <i>Trientalis europaea</i> , <i>Solidago virgaurea</i> , <i>Ajuga reptans</i> , <i>Veronica chamaedrys</i> , <i>Asarum europaeum</i>
Вейниково-волосистоосоковая	Формируются преимущественно под пологом производных древостоев. Проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса составляет 50-80%.	<i>Carex pilosa</i> , <i>Calamagrostis arundinacea</i> , <i>Brachypodium pinnatum</i>
Крупно-папоротниковая	Формируются в окнах полога древостоя. Проективное покрытие папоротников составляет 90-100%.	<i>Athyrium filix-femina</i> , реже <i>Dryopteris filix-mas</i> , <i>D. expansa</i>
Высокотравная	Формируется в окнах полога древостоя. Проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса составляет 90-100%.	<i>Rubus idaeus</i> , <i>Aconitum excelsum</i> , <i>Milium effusum</i> , <i>Filipendula ulmaria</i> , <i>Polygonum bistorta</i> , <i>Cirsium heterophyllum</i> , <i>Calamagrostis arundinacea</i> , <i>Polygonum bistorta</i>
Разнотравно-злаковая	Формируется на вырубках и в окнах полога древостоя. Проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса составляет 90-100%.	<i>Calamagrostis arundinacea</i> , <i>Carex pilosa</i> , <i>Brachypodium pinnatum</i> , <i>Milium effusum</i> , <i>Cirsium heterophyllum</i> , <i>Geranium sylvaticum</i> , <i>Betonica officinalis</i> , <i>Aegopodium podagraria</i> , <i>Milium effusum</i> , <i>Aconitum excelsum</i> , <i>Veratrum lobelianum</i>
Наземноевейниковая	Формируются на вырубках.	<i>Calamagrostis epigeios</i>
Двуклесточниковая	Формируются на вырубках.	<i>Phalaroides arundinaceae</i>

Сплошные рубки приводят к изменению пространственной структуры. В послерубочных темнохвойных фитоценозах, несмотря на сохранение эдификатора, синузии отнесенные к категории коренных, теряют свои позиции (таблица 6.7). В наибольшей степени страдают крупнопоротниковые синузии, распространенными остаются мертвопокровные, которые развиваются в куртинах густого крупного подроста. Преобладающими становятся вейниково-волосистоосоковые синузии, которые могут занимать до девяноста процентов. Также широко представлены разнотравно-злаковые синузии. Физиономически они подобны вейниково-волосистоосоковым, однако их альфа разнообразие значительно больше.

Таблица 6.6 – Площадь синузий (%) в субкоренных ельниках и послерубочных темнохвойных лесах Южного Урала

Эколого-динамический ряд	Субкоренные ельники		Послерубочные ельники и пихтарники		
	160	140	50	65	70
Возраст древостоя, лет					
Зеленомошно-мелкотравная	20	40	40	70	10
Мертвопокровная	10	10	5	7	5
Крупнопоротниковая	5	5	-	-	-
Вейниково-волосистоосоковая	5	5	40	5	60
Высокотравная	-	-	-	3	-
Разнотравно-злаковая	-	-	5	15	-
Наземнойвейниковая	-	-	-	-	-
Двукисточниковая	-	-	-	-	-

Таблица 6.7 – Площадь синузий (%) в производных лиственных лесах Южного Урала

Эколого-динамический ряд	Коротко-производные березняки				Длительно-производные березняки			Устойчиво-производные осинники			
	5	20	80	100	20	35	100	8	20	65	110
Возраст древостоя, лет											
Зеленомошно-мелкотравная	-	1-2	30	65	2	1	5	-	-	-	-
Мертвопокровная	-	1-2	5	10	-	-	5	-	-	-	-
Крупнопоротниковая	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-
Вейниково-волосистоосоковая	-	95	55	-	98	99	90	-	-	-	-
Высокотравная	10	-	2-3	2	-	-	-	5	-	100	100
Разнотравно-злаковая	40	2-3	2-3	-	-	-	-	45	100	-	-
Наземнойвейниковая	10	-	-	-	-	-	-	50	-	-	-
Двукисточниковая	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

При формировании коротко-производных березняков на начальных этапах коренные синузии исчезают из структуры фитоценозов, доминирующими становятся производные: разнотравно-злаковые, двукисточниковые, высокотравные, наземнойвейниковые. На средних этапах по мере увеличения полноты темнохвойных растений преобладают (более девяноста

процентов площади) вейниково-волосистоосоковые синузии, появляются мелкотравные и зеленомошно-мелкотравные синузии. В длительно производных березняках на протяжении более ста лет господствуют (близко к ста процентам) вейниково-волосистоосоковые синузии. Площадь мелкотравных и мертвопокровных синузий не превышает десяти процентов. Зеленомошные отсутствуют. В устойчиво-производных осинниках на начальных стадиях господствуют разнотравно-злаковые и наземно-вейниковые синузии. Со временем они сменяются высокотравными.

Возвращаясь к анализу ранговых распределений обилий видов производных лесов 20-30-летнего возраста можно сделать вывод о причинах выявленных особенностей. Коротко-производные березняки имеют в своем составе большой набор синузий. Под их пологом встречаются как коренные синузии (зеленомошно-мелкотравные и мертвопокровные), которые являются убежищем для видов коренных ельников, так и производные (вейниково-волосистоосоковые и имеющие наибольшее видовое разнообразие разнотравно-злаковые). Поэтому в коротко-производных березняках отмечено наибольшее количество видов и наиболее длинное и пологое ранговое распределение. В длительно-производных березняках и устойчиво-производных осинниках набор синузий значительно беднее. В устойчиво-производных осинниках явно преобладает разнотравно-злаковая синузия, которая отличается повышенным видовым разнообразием, а в длительно-производных березняках вейниково-волосистоосоковая. В результате ранговые распределения обилий видов для устойчиво-производных осинников более длинные и пологие по сравнению с ранговыми распределениями длительно производных березняков.

Ординация лесных фитоценозов. Наглядным методом для представления результатов о дифференциации фитоценозов являются ординационные диаграммы. Для построения диаграммы использовали данные о фитомассе травяно-кустарничкового яруса. Проведенные исследования выявили, что неплохой результат показывает анализ соответствий (ДСА) (рисунок 6.6). Данный метод позволил установить, что все послерубочные леса имеют отличия от субкоренных ельников, которые сохраняются более ста лет. Ближе всего к коренным лесам на диаграмме расположены послерубочные ельники и пихтарники. Однако эти две категории фитоценозов четко разделены на рисунке.

Коротко- и длительно-производные фитоценозы имеют еще больше различий и расположены в осях ДСА за послерубочными ельниками. Причем интересным выводом является отсутствие дифференциации между коротко- и длительно-производными березняками и их стадиями динамики. Устойчиво-производные осинники и вырубки максимально удалены от субкоренных лесов. Причем в отличие от коротко- и длительно-производных фитоценозов их

возрастные стадии дифференцированы в осях DCA, что является признаком изменения состава и структуры. Вырубки занимают отдельную область на ординационной диаграмме.

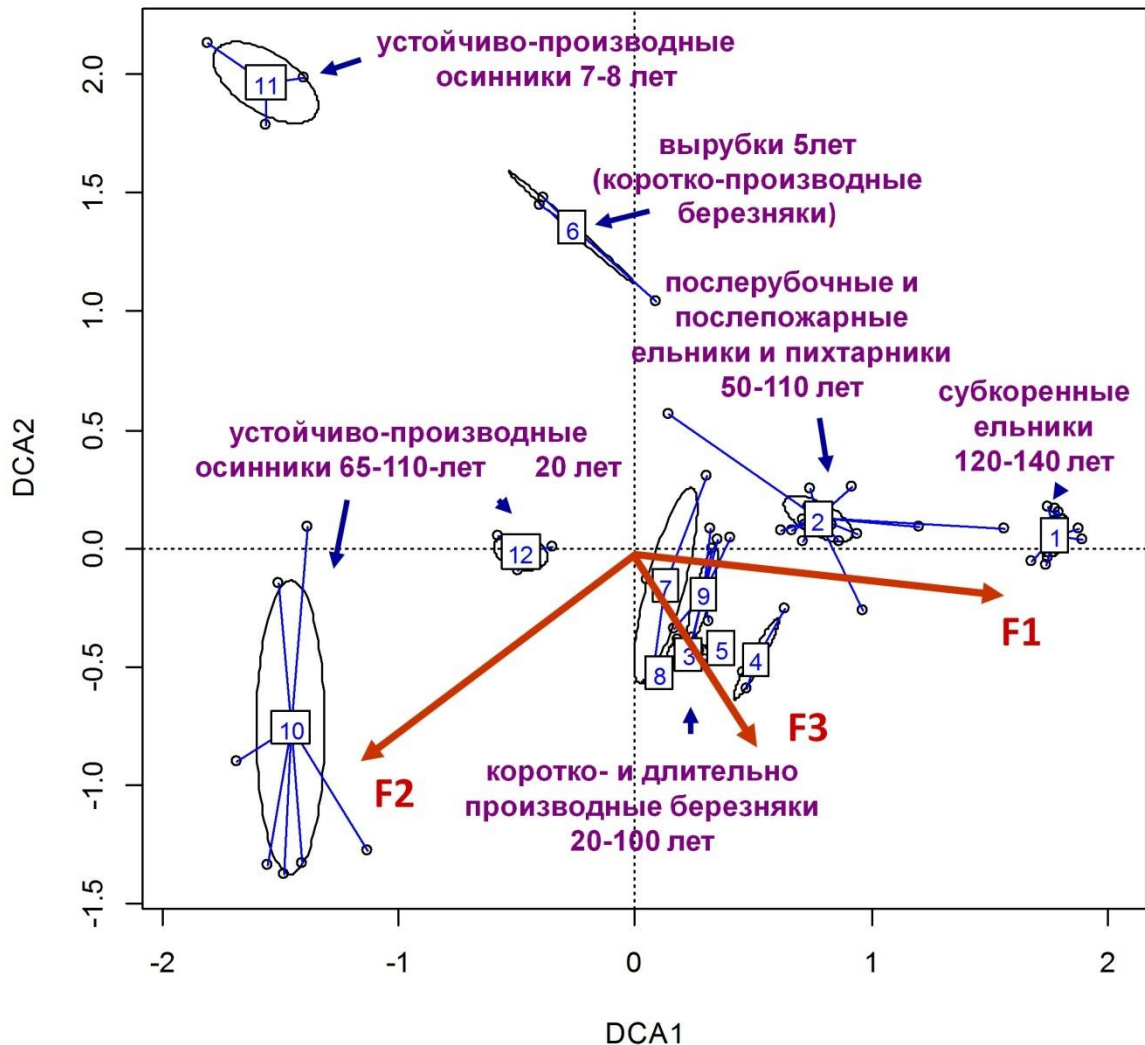


Рисунок 6.6 – Дифференциация лесной растительности (в осях DCA) после сплошных рубок на пологих склонах с мощными бурыми горно-лесными дренированными почвами на Южном Урале: F1 – доля в составе древостоя *Picea obovata* Ledeb. и *Abies sibirica* Ledeb.; F2 – доля в составе *Populus tremula* L.; F3 – возраст древостоя (лет)

Для проверки гипотезы о тесной связи восстановительно-возрастных смен с эдификаторами лесных экосистем нами был проведен анализ сопряженности структуры и динамики древесного и травяно-кустарничкового ярусов лесной растительности. Для этого нанесли на рисунок 6.6 векторы, характеризующие древесный ярус. В качестве основных характеристик роли древесного вида в экосистеме приняли возраст древостоя и процент древесного вида в составе древостоя. Из таблицы 6.5 следует, что наибольшее влияние на

структуру травяно-кустарничкового яруса оказывают *Picea obovata* Ledeb., *Abies sibirica* Ledeb. и *Populus tremula* L.

Таблица 6.5 – Векторы древостоя

	DCA1	DCA2	r <sup>2</sup>	Pr (>r)
F1 – доля <i>Picea obovata</i> Ledeb. и <i>Abies sibirica</i> Ledeb. в составе древостоя	0,996	-0,13	0,67	0,001
F2 – доля <i>Populus tremula</i> L. в составе древостоя	-0,75	-0,81	0,24	0,001
F3 – возраст древостоя, лет	0,59	-0,81	0,24	0,001

Значимым фактором является также возраст древостоя. Распространение *Pinus sylvestris* L. в горах Южного Урала связано с пожарами, которые часто сопутствуют рубке. Однако в изученных нами лесах, даже пройденных низовыми пожарами неоднократно, этот древесный вид не является эдификатором. Ее влияние на продуктивность травяного яруса не является определяющим. Вектор показывающий влияние березы пушистой практически полностью совпадает с вектором возраста древостоя, но имеет меньший уровень значимости ( $p=0,044$ ) и он не нанесен на DCA-диаграмму.

Особенности расположения фитоценозов на ординационной диаграмме позволяют сделать ряд выводов:

1. Первая ось DCA связана с составом древостоя и разделяет темнохвойные мелкотравно-зеленомошные леса (ельники и пихтарники) и лиственные высокотравные леса. Причем коротко- и длительно-производные березняки располагаются между темнохвойными лесами и осинниками.

2. Вторая ось DCA связана с возрастом древостоя (давностью рубки) и разделяет леса и вырубки.

Таким образом, рисунок 6.6 наглядно показывает как экзогенный фактор (сплошные рубки) инициирует восстановительные процессы.

Анализ интенсивности лесопользования позволяет сделать выводы о масштабах изменений, происходящих в лесах горного Южного Урала. Г.В. Андреев проанализировал лесной фонд и выявил, что в пределах изучаемых условий темнохвойные леса сохранились только на 16% площадей (Иванова, Андреев, 2008а). Кроме того показано, что это преимущественно послерубочные и послепожарные ельники и пихтарники, которые сформировались из сохранившегося и выжившего в процессе лесозаготовок подроста предварительной генерации или после естественного распада березняков и осинников (в редких случаях на гарях). Условно-коренные темнохвойные леса сохранились на ничтожной площади.

Коротко-производные березняки занимают только четыре процента площади (Иванова, Андреев, 2008б), длительно-производные березняки – шестьдесят два процента (Иванова, Андреев, 2008в), устойчиво-производные осинники – двадцать пять процентов. Из вышеизложенного можно сделать вывод, что мозаичность лесных экосистем в пределах экотопа огромна, а в качестве основной причины следует считать сплошные рубки, которые приводят к резкому снижению участия *Picea obovata* Ledeb. и *Abies sibirica* Ledeb. в структуре лесов на огромных площадях.

### 6.3. Дивергенция эколого-динамических рядов формирования лесных фитоценозов в Зауральской холмисто-предгорной провинции Среднего Урала

Влияние лесопользования на биоразнообразие лесных фитоценозов Среднего Урала проанализировано нами на примере редкого, но продуктивного типа леса – ельников травяно-зеленомошниковых, произрастающих в нижних частях дренированных придолинных склонов, которые представляют собой достаточно распространенный экотоп. Для этого типа леса свойственен близкий к оптимальному режим увлажнения летом и переувлажнение весной (Колесников и др., 1973). Почвы отличаются большой мощностью (более 100 см) и отнесены к бурым горно-лесным. Изучены условно-коренные 190-летние ельники (рисунок 6.7), коротко-производные 65-летние березовые леса с густым подростом ели сибирской (рисунок 6.8), длительно-производные 65-летние березовые леса с редким подростом ели сибирской (рисунок 6.9) и послелесные луга-сенокосы (рисунок 6.10).

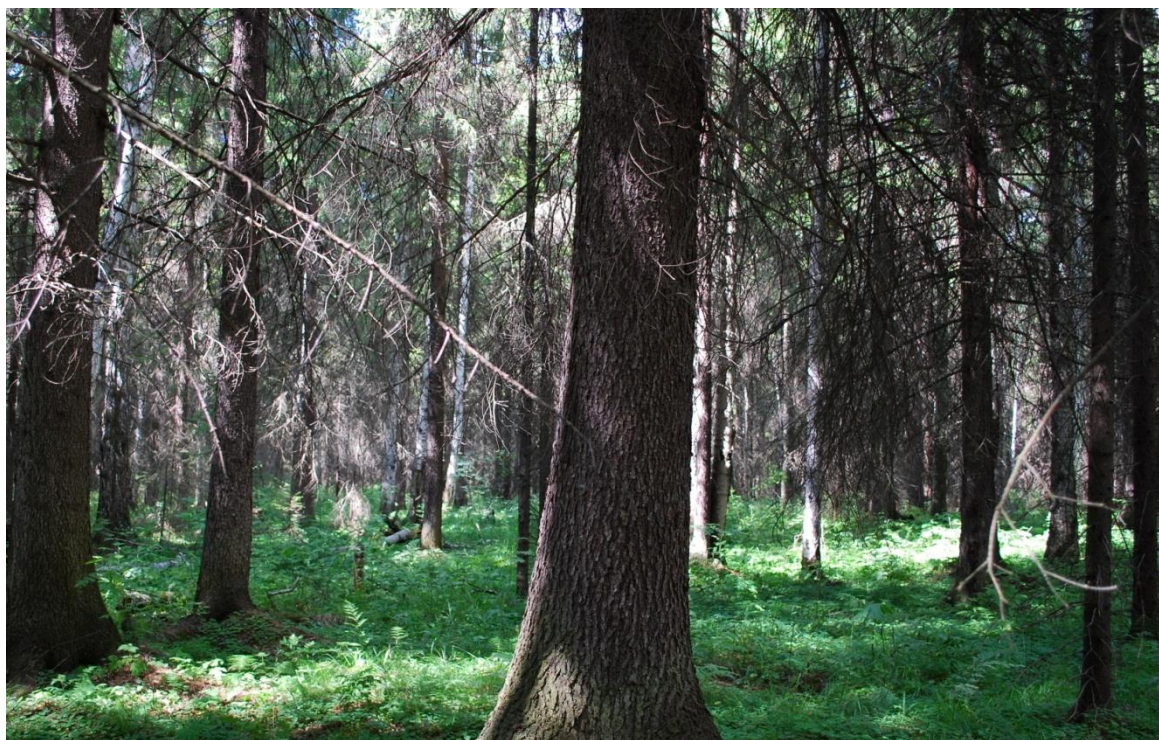


Рисунок 6.7 – Ельник травяно-зеленомошниковый 190-летнего возраста на Среднем Урале



Рисунок 6.8 – Березняк с густым подростом ели сибирской (коротко-производный) 65-летнего возраста на Среднем Урале

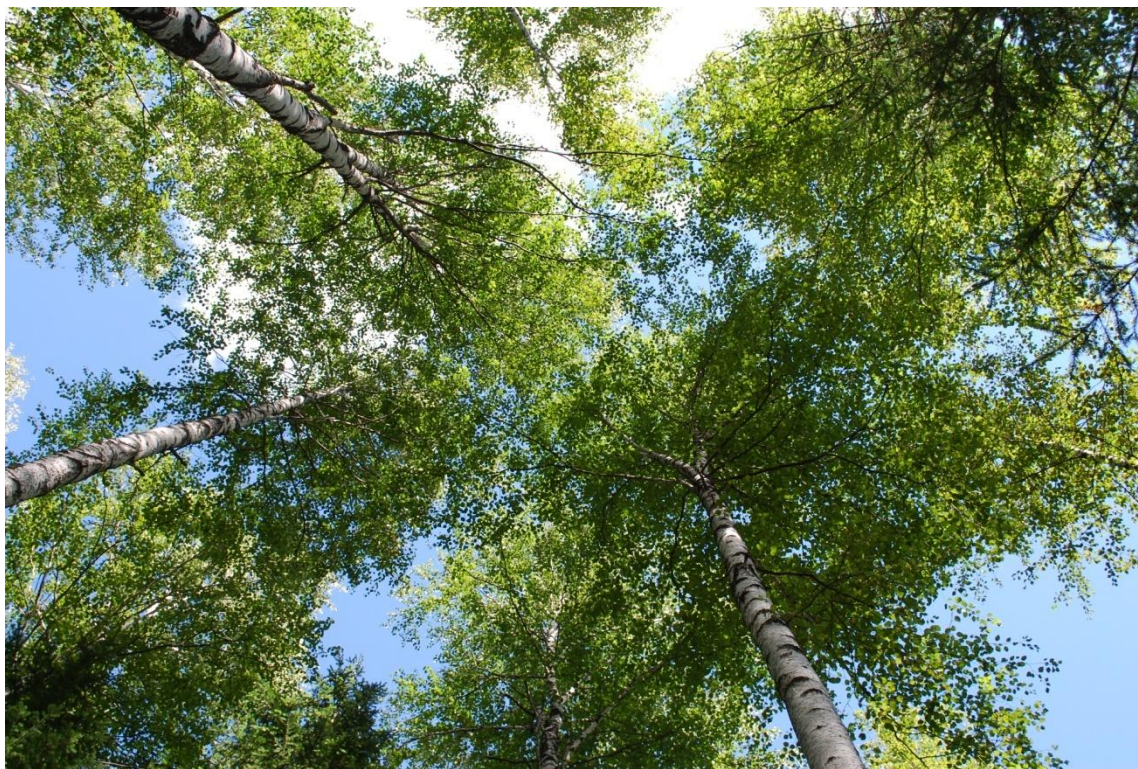


Рисунок 6.9 – Березняк с редким подростом ели сибирской (длительно-производный) 65-летнего возраста на Среднем Урале





Рисунок 6.10 – Луг-сенокос, сформировавшийся после сплошной рубки (65 лет назад) на месте ельника травяно-зеленомошникового на Среднем Урале

В травяно-кустарничковом ярусе на фоне доминирования кислицы широко представлены неморальные виды: копытень европейский, чина весенняя, бор развесистый, перловник поникший и другие, которые увеличивают альфа разнообразие этого типа леса.

Лесопользование в этом типе леса способствует возникновению широкого спектра растительных сообществ, что связано с богатством лесорастительных условий с одной стороны и различием в технологии и сезоне лесозаготовок. В таблице 6.6 приведены данные о древостое и естественном возобновлении древесных растений для условно-коренного ельника травяно-зеленомошникового и производных фитоценозов, сформировавшихся после сплошных рубок за 65-летний период. Кроме смены эдификатора большие различия выявлены в естественном возобновлении древесных растений. Достаточное количество подроста ели сибирской выявлено в коротко-производных березняках. На лугах сенокосах из хвойных древесных растений более успешно возобновляется сосна обыкновенная. Наибольшие изменения произошли в количественных соотношениях между видами (таблица 6.7). Виды, образующие основной фон нижних ярусов еловых лесов резко снизили фитомассу в производных березняках и исчезли на лугах. Некоторые виды, присутствующие в ельниках в небольших количествах, стали доминантами в производных фитоценозах. В длительно производных березняках с редким

подростом ели сибирской можно отметить *Calamagrostis arundinacea*, *Carex nigra*, *Aegopodium podagraria*, *Aconitum septentrionale*, *Pulmonaria mollis*, *Lathyrus vernus*. На лугах-сенокосах доминируют *Cirsium heterophyllum*, *Trollius europaeus*, *Deschampsia caespitosa*, *Bistorta carnea*, *Alchemilla vulgaris*, *Filipendula ulmaria*, *Ranunculus auricomus* и *Agrostis tenuis*.

Таблица 6.6 – Дифференциация структуры древостоя и подроста древесных растений после сплошных рубок в одном коренном типе леса (ельниках травяно-зеленомошниковых) Среднего Урала

Параметр структуры	Еловый лес	Березняки с густым подростом ели	Березняки с редким подростом ели	Луга-сенокосы
Древостой				
Возраст, лет	190	65	65	-
Средняя высота, м	29,5	25	24	-
Средний диаметр, см	25,5	16,4	18,2	-
Подрост <i>Picea obovata</i>				
Количество, тыс. экз./га	+	4,0	0,5	+
Преобладающая высота, м	0,1 – 0,5	5 – 10	2 – 7	-
Подрост <i>Pinus sylvestris</i>				
Количество, тыс. экз./га	-	-	-	+
Преобладающая высота, м	-	-	-	0,1 – 0,3

Наименьшее флористическое разнообразие отмечено нами в коротко-производных березняках с густым подростом ели сибирской, наибольшее – на лугах-сенокосах. Почти везде выявлено увеличение продуктивности травяно-кустарничкового яруса по сравнению с условно-коренным ельником. Надземная биомасса уменьшилась только под пологом березовых лесов с густым подростом ели сибирской.

Дисперсионный анализ (ANOVA) полученных в результате исследований данных выявил, что сукцессионный статус является статистически значимым фактором ( $F(3,35)=1245,9$ ;  $p=0.0000$ ) для продуктивности надземной растительности (рисунок 6.11).

Однако, используемый метод (ANOVA) не указывает статистически достоверные различия между изучаемыми фитоценозами разного сукцессионного статуса, а только значимость действующего фактора. Для достижения данной цели мы выполнили апостериорный тест (Тьюки HSD). Результаты таблицы показывают, что различия между всеми изученными фитоценозами статистически достоверны на уровне значимости 0,005 (таблица 6.8).

Таблица 6.7 – Динамика надземной фитомассы видов травяно-кустарничкового яруса после сплошных рубок в одном коренном типе леса (ельниках травяно-зеленомошниковых) Среднего Урала

Виды	Еловый лес		Березняки с густым подростом ели		Березняки с редким подростом ели		Луга-сенокосы	
	А	В	А	В	А	В	А	В
<i>Oxalis acetosella</i> L.	8,07	54	1,7	83,0	0,28	84,3	-	-
<i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth	1,16	123,7	0,41	176,6	55,18	18,4	-	-
<i>Gymnocarpium dryopteris</i> (L.) Newm.	1,65	226,0	0,04	264,6	-	-	-	-
<i>Fragaria vesca</i> L.	0,42	142,2	0,38	212,9	0,51	95,2	-	-
<i>Asarum europaeum</i> L.	0,72	174,7	0,08	115,4	0,33	153,2	-	-
<i>Rubus saxatilis</i> L.	0,53	240,7	-	-	-	-	0,03	173,2
<i>Athyrium filix-femina</i> (L.) Roth	0,75	216,1	-	-	0,6	244,9	-	-
<i>Linnaea borealis</i> L.	0,16	206,4	-	-	0,55	120,5	0,22	153,7
<i>Maianthemum bifolium</i> (L.) F. W. Schmidt	0,45	94,3	0,24	218,3	0,48	83,9	0,1	173,2
<i>Aegopodium podagraria</i> L.	0,31	161,9	-	-	6,78	56,9	-	-
<i>Viola selkirkii</i> Pursh ex Goldie	0,62	144,8	-	-	0,02	118,3	-	-
<i>Equisetum sylvaticum</i> L.	0,33	148,3	-	-	-	-	-	-
<i>Cerastium pauciflorum</i> Stev. ex Ser.	0,59	118,8	0,4	124,2	1,17	60,8	-	-
<i>Dryopteris expansa</i> L.	0,17	294,0	0,12	246,9	-	-	-	-
<i>Luzula pilosa</i> (L.) Willd.	0,11	192,0	0,26	101,7	0,03	244,9	0,8	162,5
<i>Pyrola rotundifolia</i> L.	0,06	479,6	0,47	237,7	0,02	244,9	-	-
<i>Stellaria holostea</i> L.	0,23	188,2	0,11	244,6	2,1	68,1	-	-
<i>Aconitum septentrionale</i> Koelle	-	-	-	-	4,67	132,6	-	-
<i>Cirsium heterophyllum</i> (L.) Hill	-	-	-	-	0,88	125,3	39,43	78,29
<i>Thalictrum minus</i> L.	0,05	479,6	-	-	3,13	114,7	-	-
<i>Geranium sylvaticum</i> L.	0,15	226,0	-	-	5,67	67,8	11,77	119,6
<i>Pulmonaria mollis</i> Wulf.	0,05	479,6	0,03	170,8	3,09	87,4	-	-
<i>Carex nigra</i> (L.) Reichard	0,23	200,1	0,01	264,6	9,47	74,6	0,03	86,6
<i>Lathyrus vernus</i> (L.) Bernh.	0,04	248,4	0,04	196,6	1,28	91,1	0,02	173,2
<i>Vicia sepium</i> L.	-	-	-	-	1,0	110,6	0,83	91,7
<i>Senecio nemorensis</i> L.	-	-	-	-	1,37	144,1	-	-
<i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) Beauv.	0,04	479,6	-	-	-	-	23,97	12,8
<i>Bistorta carnea</i> (C. Koch) Kom.	-	-	-	-	-	-	30,97	73,4
<i>Carex pallescens</i> L.	-	-	-	-	-	-	21,97	41,8
<i>Carex leporina</i> L.	-	-	-	-	-	-	9,73	120,1
<i>Agrostis tenuis</i> SIBTH.	-	-	-	-	-	-	34,03	36,8
<i>Alchemilla vulgaris</i> L.	-	-	-	-	-	-	19,67	33,3
<i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim.	-	-	-	-	-	-	29,8	159,2
<i>Trollius europaeus</i> L.	0,01	479,6	-	-	-	-	8,70	71,7
<i>Ranunculus auricomus</i> L.	-	-	-	-	-	-	12,37	34,3
<i>Myosotis</i> L.	-	-	-	-	-	-	6,60	53,9

Примечание: А – надземная фитомасса в абсолютно-сухом состоянии (г/м<sup>2</sup>), В – коэффициент вариации (%), “-” – вид не встречен

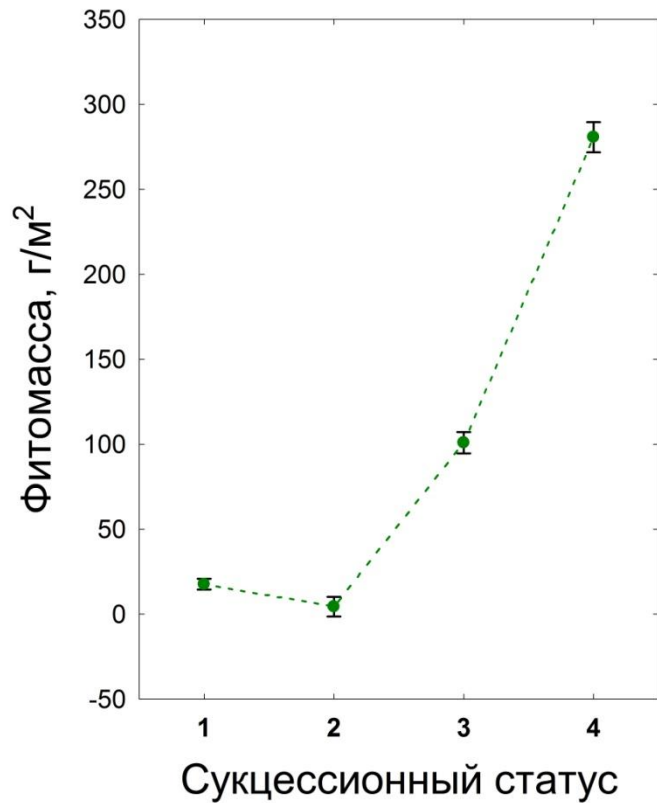


Рисунок 6.11 – Общая надземная фитомасса (абсолютно-сухое состояние) травяно-кустарничкового яруса в субкоренных ельниках травяно-зеленомошниковых и производных от них фитоценозах Среднего Урала: 1 – субкоренной ельник, 2 – коротко-производный березняк с сомкнутым вторым ярусом ели сибирской, 3 – длительно-производный березняк с редким подростом ели сибирской, 4 – луг-сенокос

Аналогичный анализ мы провели для видовой насыщенности (число видов на 1 м<sup>2</sup>) (рисунок 6.12). Выявлено, что сукцессионный статус для видовой насыщенности также является статистически значимым фактором ( $F(3,35)=36,325$ ;  $p=0,0000$ ). Согласно Тьюки HSD тесту статистически достоверные различия не подтвердились только между условно-коренным ельником и березняком с густым подростом ели сибирской. Во всех остальных случаях различия между исследованными сообществами статистически достоверны на уровне значимости 0,005 (таблица 6.8).

Таблица 6.8 – Результаты Тьюки HSD теста для фитоценозов разного сукцессионного статуса

	Еловый лес (1)	Березняки с густым подростом ели (2)	Березняки с редким подростом ели (3)	Луга-сенокосы (4)
Для надземной фитомассы				
1		0,0015	0,0002	0,0002
2	0,0015		0,0002	0,0002
3	0,0002	0,0002		0,0002
Для видовой насыщенности				
1		0,6992	0,0002	0,0002
2	0,6992		0,0002	0,0002
3	0,0002	0,0002		0,0142

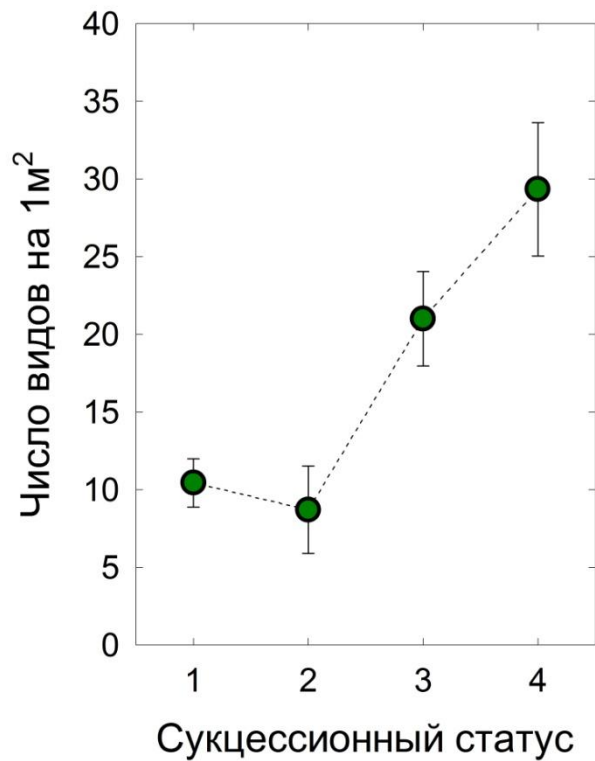


Рисунок 6.12 – Видовая насыщенность (на 1 м<sup>2</sup>) травяно-кустарничковых растений в субкоренных ельниках травяно-зеленомошниковых и производных от них фитоценозах Среднего Урала: 1 – субкоренной ельник, 2 – коротко-производный березняк с сомкнутым вторым ярусом ели сибирской, 3 – длительно-производный березняк с редким подростом ели сибирской, 4 – луг-сенокос

Видовую структуру фитоценоза определяют два фундаментальных параметра – список видов и функция неоднородности их обилия. Наиболее наглядно демонстрируют видовую структуру ранговые распределения. В современной экологии принято считать, что ранговые распределения являются фундаментальным законом и важным способом отображения

структуры сообществ (Пузаценко, 2016). Исследование распределений обилий видов (SAD) помогает выявить закономерности структурной организации фитоценоза (Пузаценко 2016). Доказано, что параметры рангового распределения ненарушенной (коренной) экосистемы варьируют в определенном диапазоне (Левич, 1980; Шитиков и др., 2011). Под воздействием экзогенных факторов набор видов может изменяться, но ранговое распределение остается стабильным до определенных критических значений деструктивного фактора и, соответственно, является некоторой количественной мерой устойчивости экосистемы. Поэтому важно выявить эталонное ранговое распределение для коренных типов леса и закономерности его трансформации экзогенными деструктивными факторами.

Нами построены ранговые распределения надземной фитомассы видов травяно-кустарничкового яруса для условно-коренного ельника травяно-зеленомошникового и производных от него коротко- и длительно-производных березняков, а также луга-сенокоса (рисунки 6.13 и 6.14). Лучшую аппроксимацию показала экспоненциальная функция (ранговое распределение Гиббса или Мотомуры).  $R^2$  больше 0,9 для всех изученных фитоценозов. Значение параметра  $\beta$  (значение степени) для условно-коренного ельника составляет 0,15 и является минимальным по сравнению со значениями  $\beta$  для производных фитоценозов. Проведенные исследования выявили, что максимальное значение  $\beta$  (0,27) характерно для березняков с густым подростом ели сибирской (коротко-производные березняки). Вероятно, интенсивное восстановление сильного эдификатора максимально трансформирует видовую структуру. Березняки с редким подростом ели сибирской и луга сенокосы имеют одинаковые значения параметра  $\beta$  (0,21). Отсюда можно сделать вывод, что эдификатор березы пушистая и повислая оказывают влияние в большей степени на видовой состав, чем на ранговое распределение. Однако в областях доминирующих и очень редких видов ранговые распределения для ельников и березняков с редким подростом ели одинаково отклоняются от распределения Гиббса, а ранговые распределения для лугов-сенокосов и березняков с густым подростом ели сибирской на всем протяжении максимально ему соответствуют ( $R^2$  составляет 0,979 и 0,976 соответственно).

Сравнительный анализ полученных ранговых распределений для Южного и Среднего Урала выявил наибольшие различия между коротко-производными березняками изученных регионов. Причины различий можно объяснить особенностями синузальной структуры. В изученных коротко-производных березняках Среднего Урала преобладают мелкотравные и мертвопокровные синузии, а разнотравно-злаковые занимают крайне небольшую площадь (таблица 6.9). В изученных коротко-производных березняках Южного Урала на фоне доминирования богатых видами производных синузий (вейниково-волосисто-осоковых и

имеющих наибольшее видовое разнообразие разнотравно-злаковых) присутствуют зеленомошно-мелкотравные и мертвопокровные, которые являются убежищем для видов коренных ельников (таблица 6.6). Поэтому в коротко-производных березняках Южного Урала отмечено большее количество видов и наиболее длинное и пологое ранговое распределение.

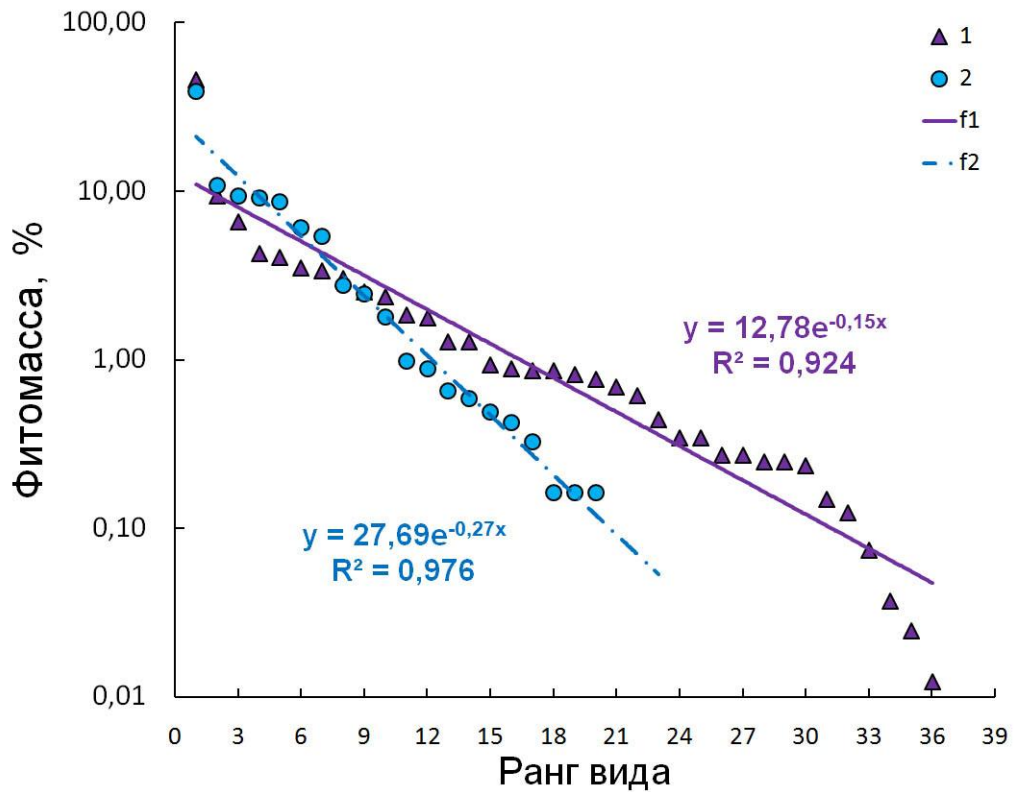


Рисунок 6.13 – Ранговые модели общей надземной фитомассы видов травяно-кустарничкового яруса в ельниках травяно-зеленомошниковых 190-летнего возраста (1) и коротко-производных березняках с сомкнутым вторым ярусом ели сибирской (2) Среднего Урала, f1 и f2 – аппроксимирующие экспоненциальные функции для ельника и березняка соответственно

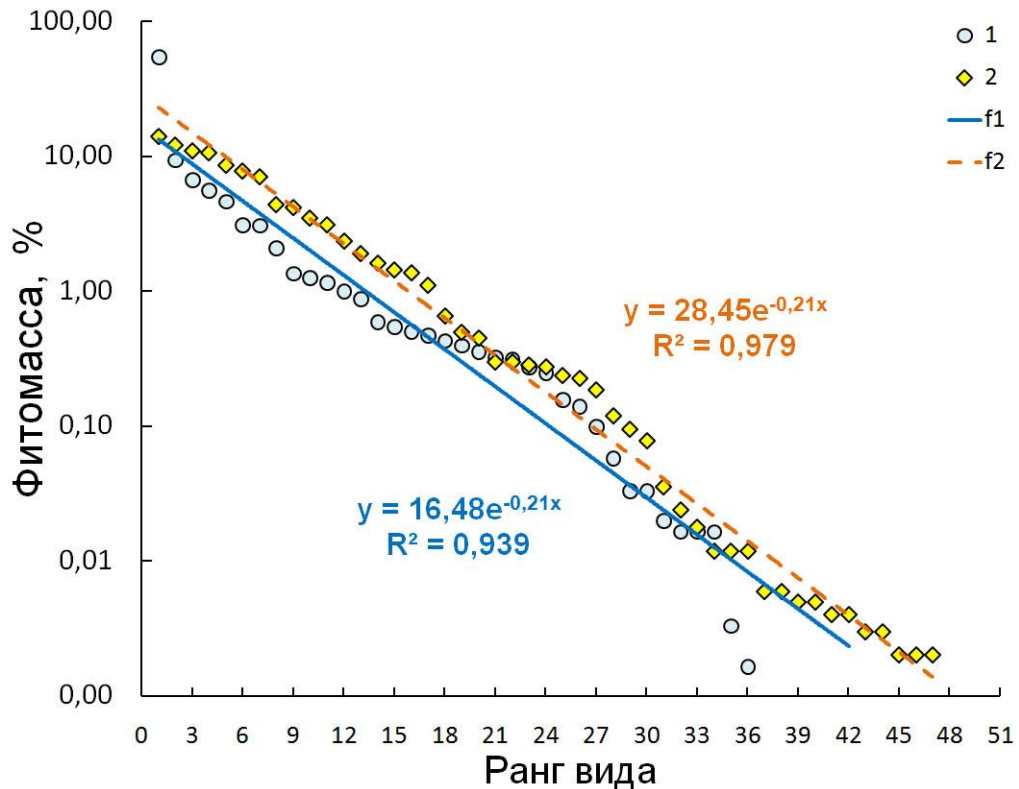


Рисунок 6.14 – Ранговые модели общей надземной фитомассы видов травяно-кустарничкового яруса в длительно-производном березняке с редким подростом ели сибирской 65-летнего возраста (1) и на лугу-сенокосе (2) Среднего Урала, f1 и f2 – аппроксимирующие экспоненциальные функции для березняка и луга соответственно

Таблица 6.9 – Синузильная структура изученных фитоценозов Среднего Урала

Название синузии	Площадь, %			
	Еловый лес	Березняки с густым подростом ели	Березняки с редким подростом ели	Луга-сенокосы
Мелкотравные	98	54	2	-
Мертвопокровные	-	45	-	-
Разнотравно-злаковые	1	1	97	65
Высокотравные	1	-	1	35

Анализ возрастной структуры древостоя и подроста в производных березняках показал, что возраст ели сибирской составляет 65 и более лет для большинства учтенных деревьев, т.е. они принадлежат к предварительным и сопутствующей рубке поколениям. Более молодой подрост встречается редко и имеет признаки угнетения (зонтиковидную крону, незначительный вертикальный прирост). Таким образом, направление лесовосстановления после сплошных



рубок в ельниках травяно-зеленомошниковых зависело в первую очередь от количества елового подроста, который сохранился в процессе лесозаготовки. Аналогичные выводы были получены нами для темнохвойных лесов западных низкогорий Южного Урала, которые также находятся на границе своего распространения. В целях устойчивого лесопользования и сохранения биоразнообразия лесных экосистем данный вывод имеет ключевое значения.

#### 6.4. Сравнительный анализ структуры травяно-кустарничкового яруса условно-коренных лесов и вырубок Среднего Урала

Основной задачей раздела 6.4 является проверка двух нулевых гипотез:

1. Сплошные рубки приводят к статистически-значимым различиям биоразнообразия и структуры травяно-кустарничкового яруса условно-коренных лесов и вырубок.
2. На сплошных вырубках в различных лесорастительных условиях происходит конвергенция структуры травяно-кустарничкового яруса и изначально статистически значимые различия между условно-коренными лесами становятся не достоверными на вырубках.

Для проверки гипотез был проведен дисперсионный анализ. Сравнивались условно-коренные леса и сплошные рубки в различных лесорастительных условиях. В брусничниковом типе леса статистически достоверные различия (на уровне значимости 0,05) выявлены для проективного покрытия и фитомассы (таблица 6.10). В значениях видовой насыщенности не произошло значимых изменений: как в условно-коренных лесах, так и на вырубках биоразнообразие травяно-кустарничкового яруса минимально по сравнению с другими типами леса.

Таблица 6.10 – Сравнительный анализ структуры травяно-кустарничкового яруса условно-коренных лесов и вырубок в типе леса сосняки брусничниковые Среднего Урала

Сукцессионный статус	Среднее значение	-95%	+95%	F (1,23)	p
Видовая насыщенность					
Лес	8,57	6,91	10,23	4,34	0,485
Вырубка	10,90	9,12	12,69		
Проективное покрытие, %					
Лес	26,24	15,79	36,69	16,86	0,0004*
Вырубка	62,08	44,90	79,26		
Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, г/м <sup>2</sup>					
Лес	65,27	32,28	98,26	11,42	0,0025*
Вырубка	130,31	109,02	151,59		

Примечание: F – критерий Фишера, p – уровень значимости, \* отмечены статистически значимые различия на уровне значимость 0,05

В ягодниковом типе леса по всем исследуемым показателям отмечены статистически достоверные различия между лесами и вырубками. Причем установлено достоверное увеличение значений для всех показателей (таблица 6.11). Ягодниково-липняковый тип леса сходен с брусничниковым по выявленным статистически значимым различиям (таблица 6.12)

Таблица 6.11 – Сравнительный анализ структуры травяно-кустарничкового яруса условно-коренных лесов и вырубок в типе леса сосняки ягодниковые Среднего Урала

Сукцессионный статус	Среднее значение	-95%	+95%	F (1,9)	p
Видовая насыщенность					
Лес	8,37	7,11	9,63	53,70	0,0000*
Вырубка	18,00	10,54	25,45		
Проективное покрытие, %					
Лес	51,42	33,43	69,42	6,45	0,0316*
Вырубка	85,66	54,21	117,12		
Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, г/м <sup>2</sup>					
Лес	116,36	65,19	167,53	9,81	0,0120*
Вырубка	234,00	166,74	301,25		

Примечание: F – критерий Фишера, p – уровень значимости, \* отмечены статистически значимые различия на уровне значимость 0,05

Таблица 6.12 – Сравнительный анализ структуры травяно-кустарничкового яруса условно-коренных лесов и вырубок в типе леса сосняки ягодниково-липняковые Среднего Урала

Сукцессионный статус	Среднее значение	-95%	+95%	F (1,23)	p
Видовая насыщенность					
Лес	17,16	13,56	20,76	0,72	0,4018
Вырубка	15,89	14,39	17,39		
Проективное покрытие, %					
Лес	57,58	44,13	71,02	5,18	0,0324*
Вырубка	81,06	69,518	92,61		
Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, г/м <sup>2</sup>					
Лес	69,71	58,01	81,42	9,16	0,0059*
Вырубка	256,69	184,89	328,49		

Примечание: F – критерий Фишера, p – уровень значимости, \* отмечены статистически значимые различия на уровне значимость 0,05

В орляком и разнотравном типах леса статистически достоверные различия установлены для видовой насыщенности и фитомассы (таблицы 4.13 – 4.14). Проективное покрытие в этих типах леса после сплошных рубок не изменяется значимо.

Таблица 4.13 – Сравнительный анализ структуры травяно-кустарничкового яруса условно-коренных лесов и вырубок в типе леса сосняки орляковые Среднего Урала

Сукцессионный статус	Среднее значение	-95%	+95%	F (1,11)	p
Видовая насыщенность					
Лес	14,75	12,71	16,78	8,84	0,0126*
Вырубка	18,60	16,17	21,02		
Проективное покрытие, %					
Лес	83,72	71,62	95,82	0,50	0,4932
Вырубка	88,60	81,38	95,81		
Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, г/м <sup>2</sup>					
Лес	123,21	100,64	145,78	24,56	0,0004*
Вырубка	191,20	169,10	213,29		

Примечание: F – критерий Фишера, p – уровень значимости, \* отмечены статистически значимые различия на уровне значимость 0,05

Таблица 4.14 – Сравнительный анализ структуры травяно-кустарничкового яруса условно-коренных лесов и вырубок в типе леса сосняки разнотравные Среднего Урала

Сукцессионный статус	Среднее значение	-95%	+95%	F (1,12)	p
Видовая насыщенность					
Лес	27,57	25,01	30,12	47,88	0,0000*
Вырубка	13,42	9,12	17,72		
Проективное покрытие, %					
Лес	86,84286	70,08	100,00	3,60	0,0818
Вырубка	99,85714	99,50	100,00		
Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, г/м <sup>2</sup>					
Лес	89,30	78,09	100,51	45,16	0,0000*
Вырубка	369,57	268,13	471,00		

Примечание: F – критерий Фишера, p – уровень значимости, \* отмечены статистически значимые различия на уровне значимость 0,05

В травяно-липняковом типе леса различия достоверны для проективного покрытия и фитомассы, и не достоверны для видовой насыщенности (таблица 4.15). В сосняках с темнохвойным ярусом мшисто-черничниковых после сплошных рубок выявлены статистически достоверные различия для всех исследованных показателей (таблица 4.16).

Таким образом, по уровню фитомассы травяно-кустарничкового яруса различия между лесами и рубками статистически достоверны для всех исследованных пар типов леса – вырубки, по уровню проективного покрытия и видовой насыщенности для четырех из семи.

Полученные результаты подтверждают гипотезу о дивергенции структуры фитоценозов после сплошных вырубок.

Таблица 4.15 – Сравнительный анализ структуры травяно-кустарничкового яруса условно-коренных лесов и вырубок в типе леса сосняки травяно-липняковые Среднего Урала

Сукцессионный статус	Среднее значение	-95%	+95%	F (1,8)	p
Видовая насыщенность					
Лес	14,00	8,58	19,41	1,33	0,2810
Вырубка	16,60	13,48	19,71		
Проективное покрытие, %					
Лес	43,32	3,74	82,89	13,75	0,0059*
Вырубка	97,20	89,42	100,00		
Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, г/м <sup>2</sup>					
Лес	65,46	41,19	89,72	29,24	0,0006*
Вырубка	270,80	168,21	373,39		

Примечание: F – критерий Фишера, p – уровень значимости, \* отмечены статистически значимые различия на уровне значимость 0,05

Таблица 4.16 – Сравнительный анализ структуры травяно-кустарничкового яруса условно-коренных лесов и вырубок в типе леса сосняки с темной хвойным ярусом мшисто-черничниковые

Сукцессионный статус	Среднее значение	-95%	+95%	F (1,5)	p
Видовая насыщенность					
Лес	10,50	8,44	12,55	15,39	0,0111*
Вырубка	14,66	10,87	18,46		
Проективное покрытие, %					
Лес	68,25	59,99	76,50	107,00	0,0001*
Вырубка	100,00	100,00	100,00		
Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, г/м <sup>2</sup>					
Лес	143,72	116,61	170,83	67,44	0,0004*
Вырубка	445,33	263,71	626,95		

Примечание: F – критерий Фишера, p – уровень значимости, \* отмечены статистически значимые различия на уровне значимость 0,05

Для проверки гипотезы о конвергенции структуры растительности после сплошных рубок в различных экотопах мы провели сравнительный анализ структуры травяно-кустарничкового яруса вырубок на основе HSD-теста. Результаты приведены в приложении 9. Выявлено, что между рубками в различных лесорастительных условиях различия в большинстве случаев не достоверны по видовой насыщенности, фитомассе и, особенно, по проективному покрытию. Полученные результаты доказывают справедливость нашей гипотезы о конвергенции структуры растительности на рубках.

### Выводы

1. Сплошные рубки на Урале приводят к резким изменениям структуры всех ярусов лесных фитоценозов, которые сохраняются длительное время (более 100 лет), даже в случае коротко-восстановительных смен. Изменения затрагивают как видовой состав, так продуктивность, и соотношение обилий видов.
2. Наиболее быстро восстановление темнохвойных лесов происходит при сохранении на вырубке жизнеспособного темнохвойного подроста. Однако в данном случае наиболее сильно трансформируются (по сравнению с условно-коренными лесами) ранговые распределения обилий видов, как на Южном Урале, так и на Среднем.
3. Ранговые распределения фитомассы видов травяно-кустарничкового яруса всех изученных производных фитоценозов хорошо описываются экспоненциальной функцией, что соответствует распределению Гиббса-Мотомуры, которое реализуется при линейной зависимости видов экосистемы от ресурса.
4. На Южном Урале значение параметра  $\beta$  (значение степени аппроксимирующей функции) максимально в условно-коренных лесах. После сплошных рубок во всех рассмотренных рядах восстановления (коротко-, длительно- и устойчиво-производных) значения параметра  $\beta$  уменьшаются. Максимальное снижение отмечено в коротко-производных березняках. На Среднем Урале выявлена противоположная тенденция: значение параметра  $\beta$  минимально в условно-коренных лесах, а после сплошных рубок во всех рассмотренных рядах восстановления (коротко-, длительно-производных и лугах-сеноосах) значения параметра  $\beta$  увеличиваются. Максимальные значения отмечены в коротко-производных березняках.

## **Глава 7. Системы логистических дифференциальных уравнений для анализа и прогнозирования восстановительно-возрастной динамики лесной растительности**

### **7.1. Основные положения и задачи исследований**

Математическое моделирование широко применяется для анализа и прогнозирования состояний, роста и формирования древесных растений и лесных экосистем. Существует множество подходов к моделированию и прогнозированию (Ризниченко, Рубин, 1983). Недостатком многих из них является требование большого количества данных о структуре объекта моделирования и о внешних условиях, в связи с чем, имеет место неопределенность и риск получения неточных и ложных результатов, что требует дальнейшего совершенствования подходов и методов для количественного прогнозирования динамики лесов (Чернавский, 1990). Одним из интересных и перспективных подходов является использования базовых моделей, которые основаны на общих свойствах сложных систем (Чернавский и др., 2006). Многие исследователи получили хорошие результаты при использовании логистических уравнений, в том числе в популяционной экологии (Базыкин, 1985; Ризниченко, Рубин, 1983; Виноградов, Шакин, 1995; Арнольд, 2000; Быстрай и др., 2004), в экономике (Занг, 1999; Andersson, 1986; Andersson, Batten, 1988; Быстрай и др., 2004; Чернавский и др., 2006), в социологии (Арнольд, 2000; Плотинский, 2001; Пугачева, Соловьев, 2003), в истории (Капица и др., 1997), где приемлемо моделируют эмперические данные.

Сходство феноменологического описания, которое обязательно включает появление, рост, конкуренцию и смертность, позволяет использовать один и тот же математический аппарат для многих систем (Вольтерра, 1976; Ризниченко, Рубин, 1983). Всесторонний анализ логистических моделей можно найти у А.Д. Базыкина (1985), Б.Г. Заславского, Р.А. Полуэктова (1988), Ю.М. Аполина, Е.А. Апоиной (2007).

Одной из задач диссертационной работы являлся анализ сильных сторон и ограничений использования систем взаимосвязанных дифференциальных логистических уравнений для прогнозирования совместного роста нескольких лесообразователей и сопряженности восстановительно-возрастной динамики ярусов лесной растительности после сплошных рубок и пожаров.

Использована следующая система логистических уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx_1}{dt} = A_1 x_1 - B_1 x_1^2 + C_1 x_1 x_2 \\ \frac{dx_2}{dt} = A_2 x_2 - B_2 x_2^2 + C_2 x_1 x_2 \end{array} \right. \quad 7.1$$

здесь  $A=1/\tau$ ,  $B=1/\tau K$ ,  $A$  – специфическая скорость естественного увеличения функции,  $\tau$  – характерный момент времени,  $K$  – предел функции (емкость экологической ниши), произведение  $x_1$ ,  $x_2$  и  $x_3$  – описывают зависимость подчиненных ярусов от формирующегося древостоя, а  $C$  – интенсивность этого взаимодействия.



## 7.2. Совместный рост сосны (*Pinus sylvestris* L.) и березы (*Betula pubescens* Ehrh., *B. pendula* Roth) после сплошных рубок и пожаров

В формировании лесов в большинстве случаев участвует несколько древесных видов растений. Доля их участия в формирующихся древостоях может быть различной. Исследование причин и механизмов смен эдификаторов необходимо для перехода к устойчивому лесопользованию.

В главе 5 нами рассмотрены соотношения численностей подроста сосны и березы на сплошных вырубках и гарях, сделаны прогнозы о преобладании хвойных или лиственных древесных растений в молодых лесах. В данной главе на примере двух типов леса рассмотрена дальнейшая динамика формирования древостоев на сплошных вырубках и гарях.

Сосняки брусничниковые наиболее часто повреждаются пожарами по сравнению с другими типами леса. Поэтому для этого типа леса рассмотрено постпирогенное формирование древостоев. Временная динамика изображена на рисунок 7.1.

Анализируемый период роста включал сто шестьдесят лет. Возраст вырубки, которая послужила отправной точкой (начальными условиями) составил пять лет. Выявлены динамические характеристики: характерный момент времени для сосны составляет два года, для березы – четыре, период интенсивного роста до тридцати - сорока лет, емкость экологической ниши для сосны  $14038 \text{ г/м}^2$ , для березы –  $5234 \text{ г/м}^2$ . Кроме того, сделан прогноз до двухсотлетних древостоев на основе выявленной теоретической линии развития. На его основе можно сделать вывод о стабильности динамики. Рисунок 7.1. наглядно показывает доминирование сосны и угнетение березы. Причем выявлено, что превышение плотности сосны над березой более одного порядка. Несмотря на это, береза сохраняется в структуре древостоя на всем изученном промежутке времени.

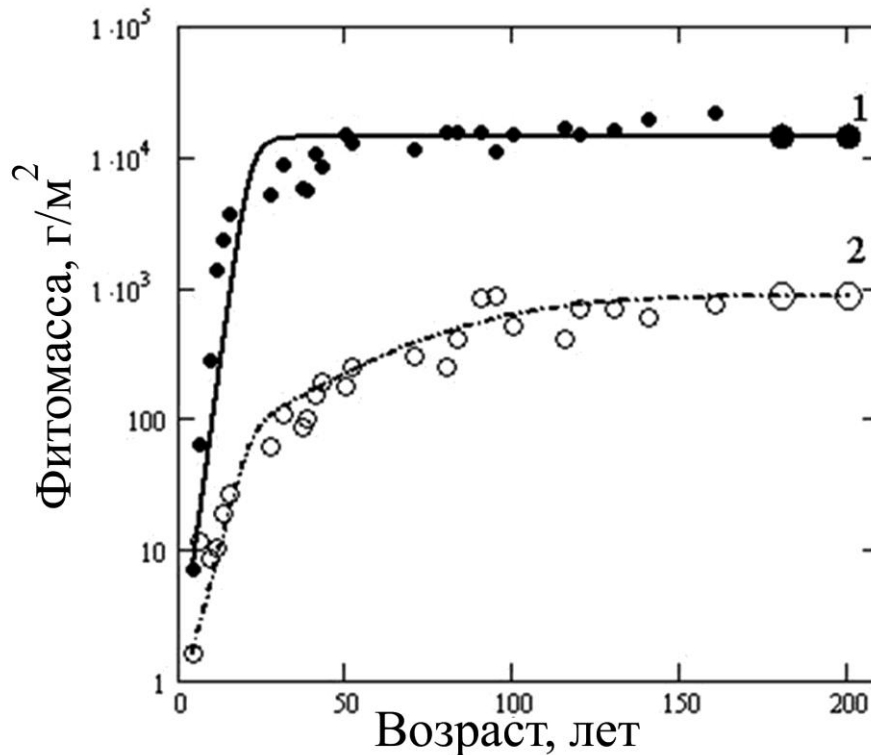


Рисунок 7.1 – Совместный рост сосны (*Pinus sylvestris* L.) и березы (*Betula pendula* Roth and *B. pubescens* Ehrh.) после пожаров в сосняках брусничниковых: 1 – фитомасса сосны ( $\text{г/м}^2$ ), 2 – фитомасса березы ( $\text{г/м}^2$ ); точки – эмпирические данные; линии – результат решения системы логистических уравнений (7.1). Две последние точки – прогноз на 20 и 40 лет вперед.

Коэффициенты уравнений:  $A_1 = 0,438$ ;  $B_1 = 0,0000312$ ;  $C_1 = 0$ ;  $A_2 = 0,231$ ;

$B_2 = 0,0000438$ ;  $C_2 = -0,0000138$

Совместный рост сосны и березы после сплошных вырубков рассмотрен на примере сосняков разнотравных. Изученный период составил шестьдесят пять лет, начиная с четырехлетних вырубков. В данном случае выявлена противоположная тенденция: эдификатором является береза, а сосна отстает в росте и попадает под ее угнетение. В результате развиваются длительно-производные березняки, под пологом которых можно встретить сильно угнетенную сосну.

В процессе решения обратной задачи в программном продукте предоставленном Г.П. Быстраем установили параметры системы логистических уравнений (7.1). Вторым шагом был расчет динамических характеристики: характерные моменты времени для березы составляют один год, а для сосны – четыре года, период интенсивного роста до двадцати – тридцати лет, емкость экологической ниши для сосны всего  $338 \text{ г/м}^2$ , для березы значительно больше и составила  $11667 \text{ г/м}^2$ .

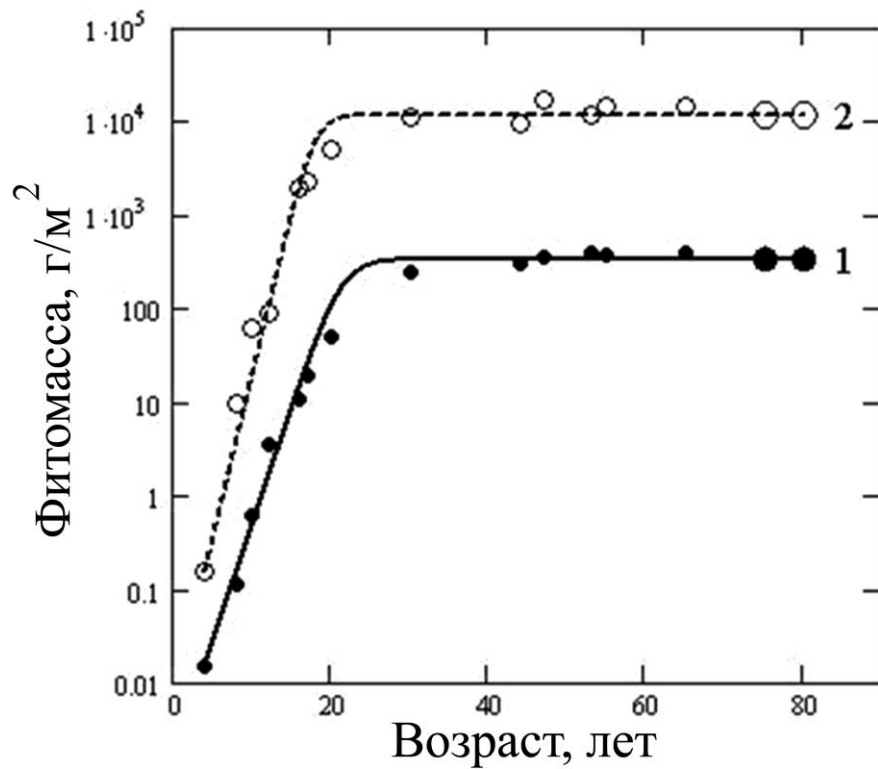


Рисунок 7.2 – Совместный рост сосны (*Pinus sylvestris* L.) и березы (*Betula pendula* Roth and *B. pubescens* Ehrh.) после сплошных рубок в сосняках разнотравных: 1 – фитомасса сосны ( $\text{г/м}^2$ ), 2 – фитомасса березы ( $\text{г/м}^2$ ); точки – эмпирические данные; линии – результат решения системы логистических уравнений 7.1. Две последние точки – прогноз на 10 и 15 лет вперед.

Коэффициенты уравнений:  $A_1 = 0,575$ ;  $B_1 = 0,0017$ ;  $C_1 = 0$ ;  $A_2 = 0,805$ ;  $B_2 = 0,000069$ ;  $C_2 = 0$

### 7.3. Сопряженность динамики ярусов лесной растительности

Анализ проведен на примере восстановления растительности после сплошных рубок в сосняках ягодниково-липняковых Зауральской холмисто-предгорной провинции Среднего Урала. Этот тип леса является распространенными и наиболее продуктивными.

Исследована динамика от однолетних вырубок до шестидесяти семилетних древостоев. В этом экотопе лесовосстановление идет со сменой эдификатора. Вырубки представляют собой сомкнутые высокотравные фитоценозы с густым подростом липы (*Tilia cordata* Mill.) и более редким березы (*Betula pendula* Roth. и *B. pubescens* Ehrh.). Сосна на таких вырубках возобновляется плохо. В результате коренные сосняки сменяются мелколиственными древостоями. Данный тип производных лесов представлен на одиннадцати процентах площадей Среднего Урала.

Преобладание травянистой растительности над древесной сохраняется пять – десять лет. Постепенно эдификаторами становятся *Tilia cordata* Mill., *Betula pendula* Roth. и *B. pubescens* Ehrh. (рисунок 7.3). Максимальные показатели фитомассы травяно-кустарничкового яруса зафиксированы на одно – двухлетних вырубках и составили 315–390 г/м<sup>2</sup> в абсолютно-сухом состоянии, минимальные показатели отмечены в возрасте древостоя тринадцать – пятнадцать лет, в дальнейшем наблюдается постепенная стабилизация на уровне 45–65 г/м<sup>2</sup>.

Решение системы уравнений и определение всех параметров позволило рассчитать динамические характеристики: характерные моменты времени для березы составляют – полтора года, для травяно-кустарничкового яруса – пять лет, емкость экологической ниши для березы – 12000 г/м<sup>2</sup>, для травяно-кустарничкового яруса – 150 г/м<sup>2</sup>. В динамике четко выделяются два периода: период интенсивного роста (первые двадцать пять лет) и период стабилизации структуры. Прогноз на пять и десять лет вперед подтвердил стабилизацию структуры.

#### Выводы

1. Впервые для лесов Урала на основе систем взаимосвязанных дифференциальных логистических уравнений формализовано описание и прогнозирование восстановительно-возрастной динамики растительности после сплошных рубок и пожаров, совместного роста нескольких лесообразователей и сопряженность динамики ярусов формирующихся лесных экосистем.

2. Впервые для преобладающих типов леса получены динамические характеристики формирующихся экосистем (характерные периоды динамики, характерные моменты времени и время необходимое для восстановления исходной структуры), установлены характер и уровень взаимозависимостей между ярусами лесной растительности, оценена устойчивость развития и сделаны прогнозы на будущее.

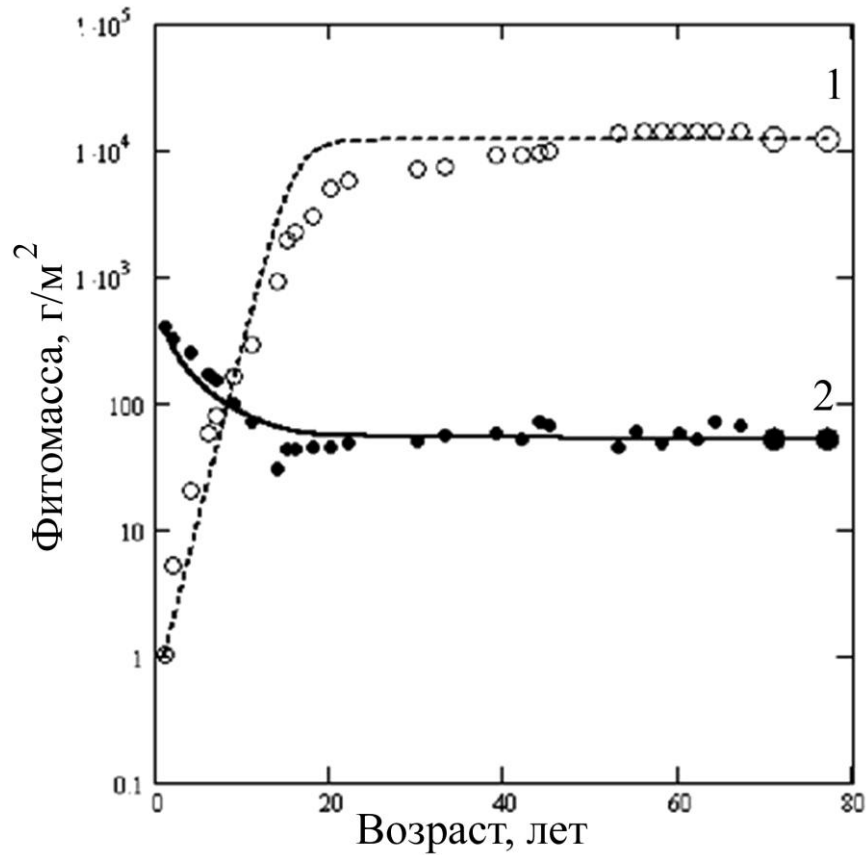


Рисунок 7.3 – Восстановительная динамика надземной фитомассы древостоя и травяно-кустарничкового яруса после сплошных рубок сосняков ягодниково-липняковых: 1 – фитомасса деревьев ( $\text{г}/\text{м}^2$ ), 2 – фитомасса травяно-кустарничкового яруса ( $\text{г}/\text{м}^2$ ), точки – статистические данные, линии – результаты решения системы зависимых нелинейных логистических уравнений (7.1) (две последние точки – прогноз вперед на 5 и 10 лет).

Коэффициенты уравнений:  $A_1 = 0,632$ ;  $B_1 = 5,263 \cdot 10^{-5}$ ;  $C_1 = 0$ ;

$A_2 = 0,18$ ;  $B_2 = 1,211 \cdot 10^{-3}$ ;  $C_2 = 3,684 \cdot 10^{-6}$

## **Глава 8. Анализ и прогнозирование восстановительно-возрастной динамики лесной растительности методами теории катастроф**

### **8.1. Актуальность применения методов теории катастроф в лесоведении и задачи наших исследований**

В целях устойчивого лесопользования актуальным является разработка стратегий управления лесными ресурсами. Надежной основой для исследования и прогнозирования влияния внешних экзогенных стрессовых факторов является теория катастроф. В лесоведении она может применяться для описания резких трансформаций структуры фитоценозов, а также сукцессионных смен. Теория катастроф может объяснить, например, как значимые эффекты могут возникнуть под действием небольших изменений экзогенных условий (Zeeman, 1976; Jones, 1977; Wright, 1983; Rietkerk et al., 1996). Данная теория в лесоведении направлена на поиск универсальных методов, которые дают реалистичные прогнозы изменения состояния лесных экосистем и помогают исследовать механизмы смены, линии динамики под действием экзогенных факторов. Благодаря тому, что в рамках этой теории разработаны основные стандартные методы стало возможным обобщить огромное многообразие ситуаций и свести их к стандартным схемам, для которых уже разработан ход анализа. Однако если в теории катастроф эффективность этих методов доказана, то в лесоведении применение методов теории катастроф для анализа и прогнозирования состояния лесных экосистем остается до сих пор крайне редким. Это связано, главным образом, с отсутствием программного обеспечения в свободном доступе и нехваткой специально подготовленных специалистов, а также с отсутствием примеров успешного использования методов теории катастроф в лесной экологии.

Нашей задачей было в целях обоснованного нелинейного количественного прогнозирования состояния и динамики лесной растительности разработать прогностические модели системы лес-вырубка (лес-гарь) на основе теории катастроф и верифицировать их на примере доминирующих типов леса Среднего Урала. Предложить методы оценки устойчивости динамики.

## 8.2. Первый этап: построение теоретической модели

### 8.2.1. Выявление управляющих параметров

Прогнозирование состояний лесных экосистем в различных условиях – центральная проблема в рамках концепции устойчивого управления ресурсами, а моделирование является надежным инструментом для теоретического изучения отдельных деревьев, их популяций и экосистем. Модели позволяют прогнозировать кризисные ситуации в жизни леса, выявлять направление и темпы сукцессий (Гуц, Володченкова, 2012).

В целях обоснованного нелинейного количественного прогнозирования состояния и динамики лесной растительности в рамках теории катастроф Рене Тома построены универсальные прогнозные модели системы лес-вырубка (лес-гарь) с двумя управляющими параметрами (сохранность исходной растительности и условия местопроизрастания).

Наиболее значимым фактором, определяющим лесовосстановление после сплошных рубок, является сохранность исходной растительности. Это могут быть отдельные куртины деревьев с естественными подчиненными ярусами, подрост древесных растений, который сохранился во время рубки, а также биологическая особенность отдельных видов деревьев давать поросль.

Таким образом, мы выделяем управляющий параметр  $T$ , который является безразмерной характеристикой сохранности лесной растительности.  $T = (\rho_0 + \rho_{t_2}) / \rho_0$ , где  $\rho_0 = (\rho_{t_1} + \rho_h) / 2$  – средняя суммарная масса (плотность) древесной и травянистой растительности,  $\rho_{t_2}$  – масса жизнеспособного подроста древесных растений на однолетней вырубке,  $\rho_{t_1}$  – фитомасса (плотность) древесных растений,  $\rho_h$  – фитомасса (плотность) травянистых растений. Чем больше имеется на вырубке подроста древесных растений, тем больше  $T$ .

Другим наиболее значимым фактором являются лесорастительные условия. Этот фактор определяет интенсивность роста древесных и травянистых растений и силу конкуренции между ними. Для удобства формализации для дренированных местообитаний будем использовать мощность почв, которую можно точно измерить. Мощность почв – комплексный фактор, характеризующий запас в почве элементов минерального питания и влаги, широко используемый в лесной типологии (Фильрозе, 1983, 1986; Ivanova, Zolotova, 2014). Таким образом, второй управляющий параметр ( $H$ ) есть характеристика богатства лесорастительных условий (мощность почвы, см).

Эти два фактора являются управляющими параметрами в нашей модели. Один фактор является внешним, другой – внутренним (экосистемным).

### 8.2.2. Построение математической модели

Построим модель формирования растительности на сплошных вырубках и гарях в зависимости от двух управляющих параметров (наличие жизнеспособного подроста древесных растений на однолетней вырубке и мощность почв).  $T$  (безразмерная характеристика равномерно распределенного подроста древесных растений), объединяясь с двумя величинами  $\rho$  (характеристика, описывающая древесную и травянистую растительность) приводит к образованию трех величин  $\rho$ . В тоже время величины  $\rho$  и  $T$  влияют на почвообразовательный процесс  $H$ . В свою очередь  $H$  влияет на развитие травянистого яруса, выживание подроста древесных растений после сплошной рубки и их рост. Данные процессы протекают как в прямом, так и в обратном направлениях. Это формализуется следующей схемой протекания процессов (Быстрой, Иванова, 2010):

$$T + 2\rho \leftrightarrow 3\rho(k_2, k_3)$$

$$\rho \leftrightarrow H(k_1, k_4)$$

$$T \leftrightarrow H.$$

В скобках указаны константы скоростей прямых процессов и обратных. Это приводит к следующему дифференциальному уравнению (Николис, Пригожин, 1973, Быстрая, Иванова, 2010):

$$\frac{d\rho}{dt} = -|k_1|\rho + |k_2|T\rho^2 - |k_3|\rho^3 + |k_4|H \quad (8.1)$$

Где  $\rho$  - суммарная плотность древесных и травянистых растений,  $k_i$  – некоторые другие параметры экосистемы, которые следует определить (Быстрая, Иванова, 2010). Эта модель описывает конкуренцию древесной и травянистой растительности, влияние лесорастительных условий на темпы роста древесных и травянистых растений и роль подроста, сохраненного во время рубки, для лесовосстановления. Чем больше  $T$ , тем быстрее увеличивается плотность древесных растений и быстрее формируется лес. Увеличение  $H$  (мощности почв) способствует больше разрастанию трав, чем росту древесных растений.

Таким образом, математическая модель построена. Следующий этап – выбор объектов исследования: типа леса и варианта восстановления (после сплошной рубки или пожара) и верификация модели.



### 8.3. Второй этап: верификация модели

#### 8.3.1. Выбор типа леса и анализ данных о восстановительно-возрастной динамике

Мы исследовали восстановление растительности после сплошных рубок в сосняках липняковых. Этот тип леса является распространенным и наиболее продуктивным в горах Урала (рисунок 8.1), произрастает в верхних и средних частях склонов. После сплошных рубок формируются вырубki с хорошо развитой травянистой растительностью и густым подростом липы (рисунок 8.2). Естественное восстановление сосны на вырубках в этом типе леса не происходит. Постепенно на вырубках формируются березняки с густым подростом липы (рисунок 8.3). Мы изучили временной ряд от однолетних вырубок до 67-летних березняков, получили данные о временной динамике фитомассы древесных и травянистых растений.



Рисунок 8.1 – 160-летние сосняки ягодниково-липняковые на Среднем Урале

Модели их совместного роста приведены в предыдущей главе (рисунок 7.3). Для построения модели в рамках теории катастроф был построен график временной динамики суммарной фитомассы древесных и травянистых растений (рисунок 8.4). Далее, на основе полученных нами данных, решая обратную задачу по методике Быстрая (Быстрой, Иванова, 2010), определены все параметры уравнения (8.1) (рисунок 8.4).



Рисунок 8.2 – Формирование лесной растительности после сплошных рубок в сосняках ягодуниково-липняковые на Среднем Урале



Рисунок 8.3 – Производные березняки ягодуниково-липняковые на Среднем Урале

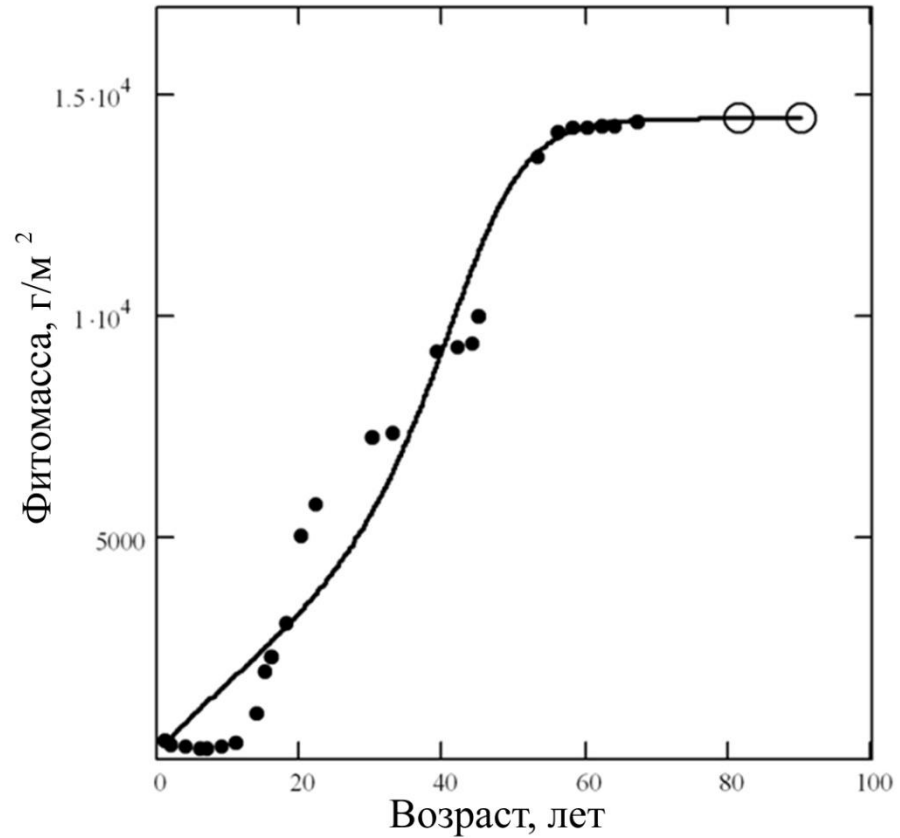


Рисунок 8.4 – Восстановительно-возрастная динамика суммарной фитомассы древесного и травянистого яруса после сплошных рубок в ягодниково-липняковом типе леса Зауральской холмисто-предгорной провинции Среднего Урала (точки – эмпирические данные, линии – результат решения уравнения 8.1 : две последние точки – прогноз на 14 и 23 года вперед;  $k_1=0.062$ ,  $k_2T=2.054 \cdot 10^{-5}$ ,  $k_3=1.192 \cdot 10^{-9}$ ,  $k_4H=200$ )

В результате мы определили все параметры уравнения (8.1) и установили, что это дифференциальное уравнение хорошо описало восстановительно-возрастную динамику суммарной плотности деревьев и трав после сплошных рубок в сосняках ягодниково-липняковых. На рассматриваемом временном интервале линии (результаты решения уравнений) достаточно хорошо соответствуют точкам (эмпирическим данным).

### 8.3.2. Переход к безразмерной форме

Далее необходимо перейти к безразмерной форме. Этот этап является необходимым и важным (Быстрой, Иванова, 2010). Для перехода к канонической (безразмерной) форме умножим левую и правую части уравнения (8.1) на  $1/|k_3|\rho_c^3$ , где  $\rho_c$  – некоторый масштаб плотности – плотность древесной и травянистой растительности в критической точке, в которой плотности деревьев и трав равны. В результате получаем из (8.1) безразмерное уравнение (8.2):

$$\frac{d\rho^*}{dt} = - \left[ \rho^{*3} - \frac{|k_2|}{|k_3|\rho_c} T \rho^{*2} + \frac{|k_1|}{|k_3|\rho_c^2} \rho^* - H^* \right] \quad (8.2)$$

В критической точке экосистемы  $p=p_0=p_c$  ( $p^*=1$ ,  $p_0^*=1$ ),  $H^*=1$ . Поэтому неопределенные константы уравнения (8.2) могут быть выражены через масштабные величины  $t_0$  и  $\rho_c$ :  $|k_1| = 3/t_0$ ,  $|k_2| = 3/t_0\rho_c$ ,  $|k_3| = 1/t_0\rho_c^2$ , Тогда  $|k_4| = \rho_c/H_c t_0$ . Здесь  $t = t/t_0$ ,  $p^* = p/p_c$ ,  $t_0 = 1/|k_3|\rho_c^2$ ,  $H^* = H/H_c$

Формулы перехода от кубического уравнения  $x^3 + \alpha x^2 + \beta x + \gamma = 0$  к кубическому уравнению  $\eta^3 + a^* \eta + b^* = 0$  следующие:

$$x = \eta - \alpha/3, a^* = -\alpha^2/3 + \beta, b^* = 2(\alpha/3)^3 - \alpha\beta/3 + \gamma$$

В результате уравнение (8.1) может быть записано в канонической форме, т.е. без квадратичного члена (Гилмор, 1984; Арнольд, 2000; Быстрая, Иванова, 2010):

$$\frac{d\eta}{dt} = -(\eta^3 + a^* \eta + b^*), \text{ или } \frac{d\eta}{dt} = -\frac{\partial F^*}{\partial \eta} \quad (8.3)$$

где  $F^* = F/F^0$  – потенциальная функция катастрофы сборки, которая определяет энергетическую характеристику в приведенном виде

$$F^*(\eta, a^*, b^*) = \frac{1}{4}\eta^4 + \frac{1}{2}a^*\eta^2 + b^*\eta, \quad \eta = \rho^* - T\rho_0^* \quad (8.4)$$

Здесь  $\eta = \rho/\rho_c - T\rho_0/\rho_c$  – параметр порядка, характеризующий отклонение плотности растительности (древесной и травянистой) при фиксированной величине  $T$ , близкой к единице, от некоторого среднего значения плотности растительности  $\rho_0 = (\rho_{r1} + \rho_h)/2$ ,  $\rho_c$  – плотность в критической точке; константы  $a^*$ ,  $b^*$  – параметры,  $\rho_0^* = |k_2|/3|k_3|\rho_c$ .

Таким образом, сделан переход к новой переменной  $\rho^*$  и управляющим параметрам  $a^*$  и  $b^*$

$$a^* = -3(T^2 \rho_0^{*2} - 1), b^* = -H^* + 3T\rho_0^* - 2T^3 \rho_0^{*3} \quad (8.5)$$

где  $\rho_0$  представляет собой среднюю плотность растительности. Параметр  $b^* = -H^* + H_s^*$  можно представить как сумму внешнего поля и собственного самосогласованного  $H_s^* = 3T\rho_0^* - 2T^3 \rho_0^{*3}$ . При  $b^* = 0$   $H^* = H_s^*$ . Полученная модель соответствует катастрофе сборки.

Динамика в приведенном (безразмерном виде) показана на рисунке 8.5. Мы определили все параметры уравнения (8.3):  $a^* = -2.749$ ,  $b^* = -1.198$ .

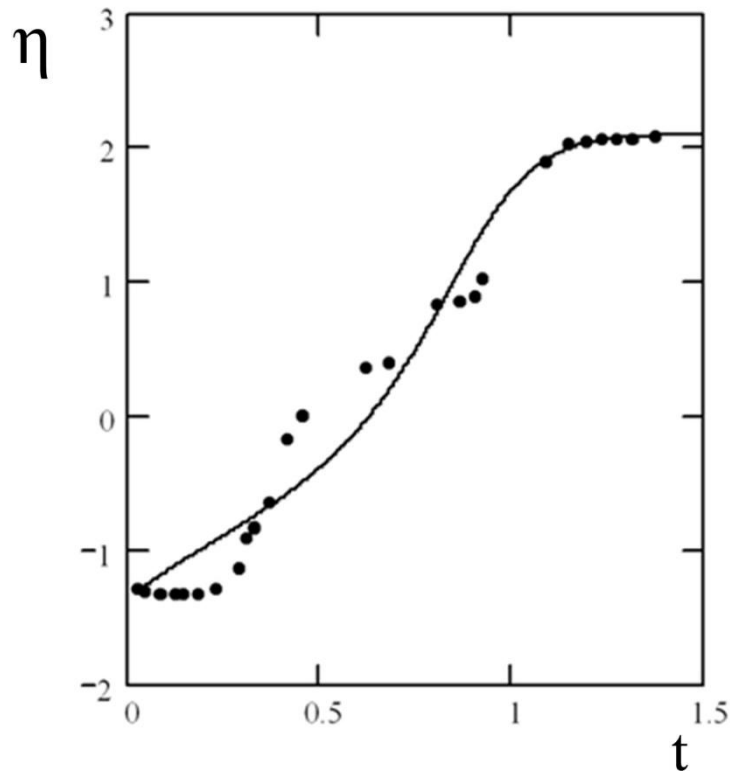


Рисунок 8.5 – Динамика параметра порядка ( $\eta$ ), характеризующего отклонение плотности растительности (древесной и травянистой) при фиксированной величине  $T$  от среднего значения биомассы в ягодниково-липняковом типе леса Зауральской холмисто-предгорной провинции Среднего Урала (точки – эмпирические данные, линии – результат решения уравнения)

### 8.3.3. Построение потенциальных функций

Используя уравнение (8.4) построим потенциальную функцию (рисунок 8.6), которая дает энергетическую характеристику в безразмерном виде. Насколько устойчиво состояния вырубki или леса можно судить по виду потенциальной функции. Наличие локального или глобального минимума в общем случае определяется с помощью теоремы Тома (в случае катастрофы сборки) ненулевыми значениями управляющего параметра  $b^*$  (при  $b^*=0$  потенциал симметричный). Рисунок 8.6 наглядно показывает, что состояние вырубki малоустойчиво, система переходит в более устойчивое состояние леса.

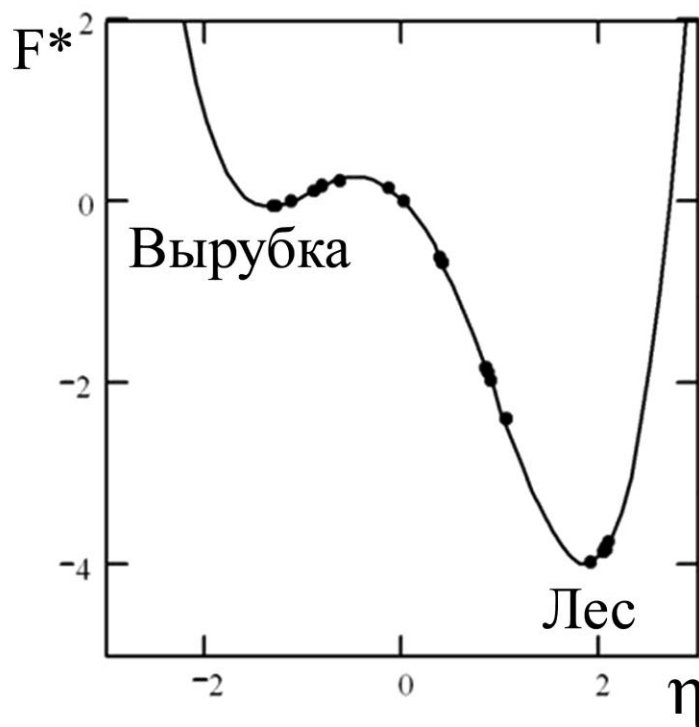


Рисунок 8.6 – Потенциальные функции для березняков ягодниково-липняковых Зауральской холмисто-предгорной провинции Среднего Урала

Вывод о том насколько устойчиво то или иное состояние можно сделать на основе удаленности системы от сепаратрисы. Сепаратриса уравнения формирующейся на вырубке растительности  $(a^*/3)^3 + (b^*/2)^2 = 0$  является предельной для метастабильных состояний древесного и травянистого ярусов. Для изученных нами березняков ягодниково-липняковых  $(a^*/3)^3 + (b^*/2)^2 = -0.041$ . Чем больше удаленность от сепаратрисы, тем большие внешние воздействия необходимы для изменения структуры растительности.

Предлагаемый нами подход позволяет рассчитать восприимчивость для уравнения  $\eta^3 + a^* \eta + H_s^* = H^*$ : характеристику изменения переменной  $\eta$  при изменении внешнего поля  $H^*$ :

$$\chi = \frac{\partial \eta}{\partial H^*} = \frac{1}{3\eta^2 + a^*} = -\frac{1}{2a^*} = \frac{1}{6(T^2 \rho_0^{*2} - 1)}$$

При приближении к критической точке  $a^* = b^* = \eta \rightarrow 0$ , а восприимчивость стремится к бесконечности. Для изученных березняков ягодниково-липняковых восприимчивость равняется -0.18.

#### 8.4. Апробация полученной модели и схемы анализа для других типов леса и деструктивных воздействий

Предлагаемая нами схема анализа является общей и может быть использована для других типов леса и деструктивных воздействий. Для апробации методики анализа рассмотрено восстановление лесной растительности после верховых пожаров в сосняках брусничниковых (рисунок 8.7) и после сплошных рубок в сосняках разнотравных (рисунок 8.8) Зауральской холмисто-предгорной провинции.



Рисунок 8.7 – Постпирогенные сосняки брусничниковые на Среднем Урале

Исследована динамика от однолетних гарей и сплошных вырубок до 160-летних сосняков брусничниковых и до 65-летних березняков разнотравных. Получены данные о фитомассе древесного и травяно-кустарничкового ярусов. Решая обратную задачу, определены все параметры уравнения (8.1) (рисунки 8.9 и 8.10).





Рисунок 8.8 – Березняки разнотравные на Среднем Урале

Сделан переход к канонической форме, определены управляющие параметры  $a^*$ ,  $b^*$ :

1. Для сосняков брусничниковых, формирующихся на гарях:

$$a^* = - 2.55 \cdot 10^4, b^* = - 1.87 \cdot 10^8$$

2. Для березняков разнотравных, формирующихся после сплошных вырубок в типе леса сосняк разнотравный:

$$a^* = - 1.42 \cdot 10^3, b^* = - 6.76 \cdot 10^3$$

Построены потенциальные функции (рисунки 8.9, 8.10). По их виду можно судить об устойчивости восстановительно-возрастной динамики. После пожаров в сосняках брусничниковых на потенциальной функции локальный минимум соответствующий гарям не выражен. Рисунок 8.9 свидетельствует об устойчивом формировании древесной растительности. После сплошных рубок в разнотравном типе леса на потенциальной функции отчетливо видны 2 устойчивых состояния, соответствующие вырубкам и лесам. Локальный минимум, соответствующий вырубкам, выражен более слабо, чем локальный минимум соответствующий лесам. Состояние леса более устойчиво.

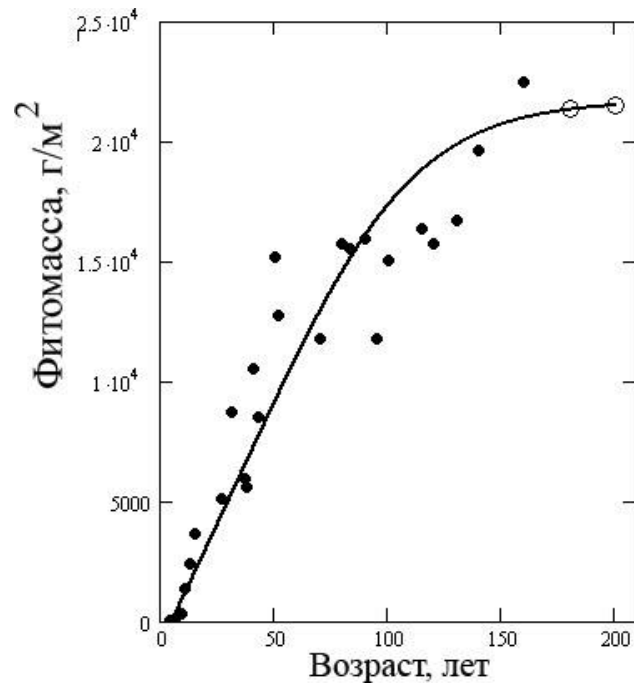


Рисунок 8.9 – Динамика суммарной фитомассы древесных и травянистых растений после пожаров на крутых склонах южной экспозиции с мелкими каменистыми почвами ( $H = 10\text{--}15$  см) в сосняках брусничниковых Зауральской холмисто-предгорной провинции Среднего Урала: точки – эмпирические данные, линии – результат решения уравнения (8.1) (две последние точки на линии – прогноз на 9 и 15 лет); коэффициенты уравнения:  $k_1=10 \cdot 10^{-8}$ ,  $k_2T=2.9 \cdot 10^{-7}$ ,  $k_3=3.3 \cdot 10^{-11}$ ,  $k_4H=200$

Сравнение полученных для трех типов леса потенциальных функций восстановительно-возрастной динамики после рубок и пожаров (рисунки 8.6, 8.11, 8.12) позволило сделать следующие выводы:

1. Наиболее успешно формируется древесная растительность после пожаров в брусничниковом типе леса.
2. Наиболее напряженные отношения между травянистыми и древесными растениями складываются в разнотравном типе леса и существует вероятность задержки сукцессионной динамики на стадии вырубке в этом типе леса.

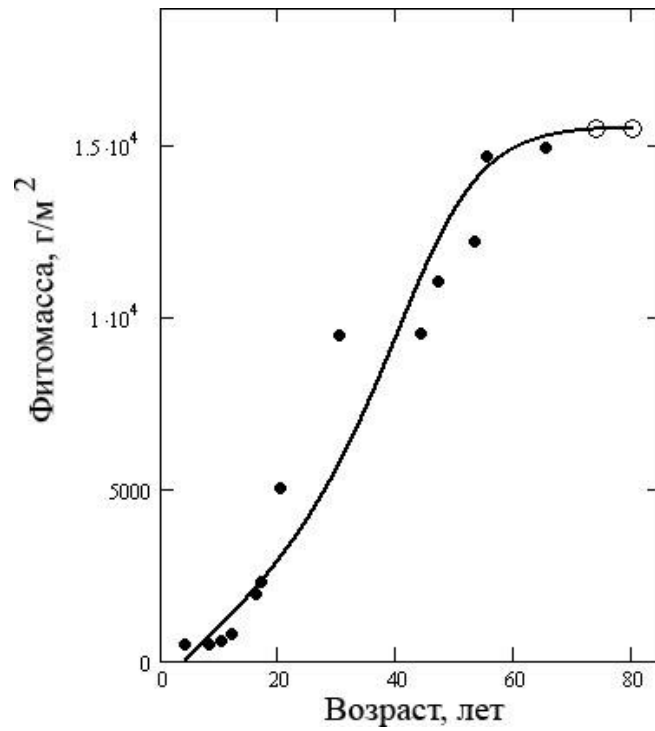


Рисунок 8.10 – Динамика суммарной фитомассы древесных и травянистых растений после сплошных рубок в березняках разнотравно-вейниковых в нижних частях пологих склонов с мощными ( $H$  более 50 см) дренированными почвами на Среднем Урале (две последние точки на линии – прогноз вперед на 5 и 10 лет); коэффициенты уравнения (8.1):  $k_1=9.17 \cdot 10^{-6}$ ,  $k_2T=8.33 \cdot 10^{-6}$ ,  $k_3=5.83 \cdot 10^{-10}$ ,  $k_4H=175$

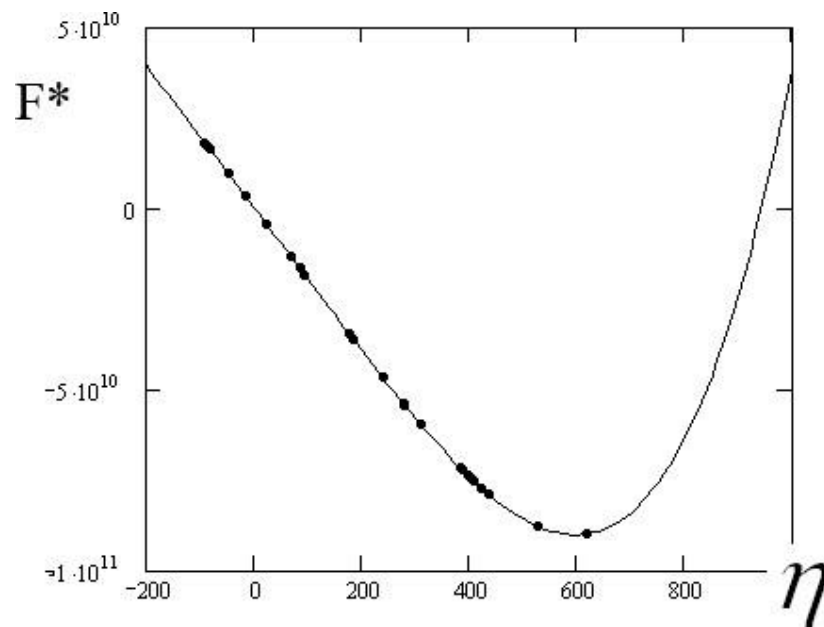


Рисунок 8.11 – Потенциальные функции для сосняков брусничниковых, формирующихся на гарях на Среднем Урале

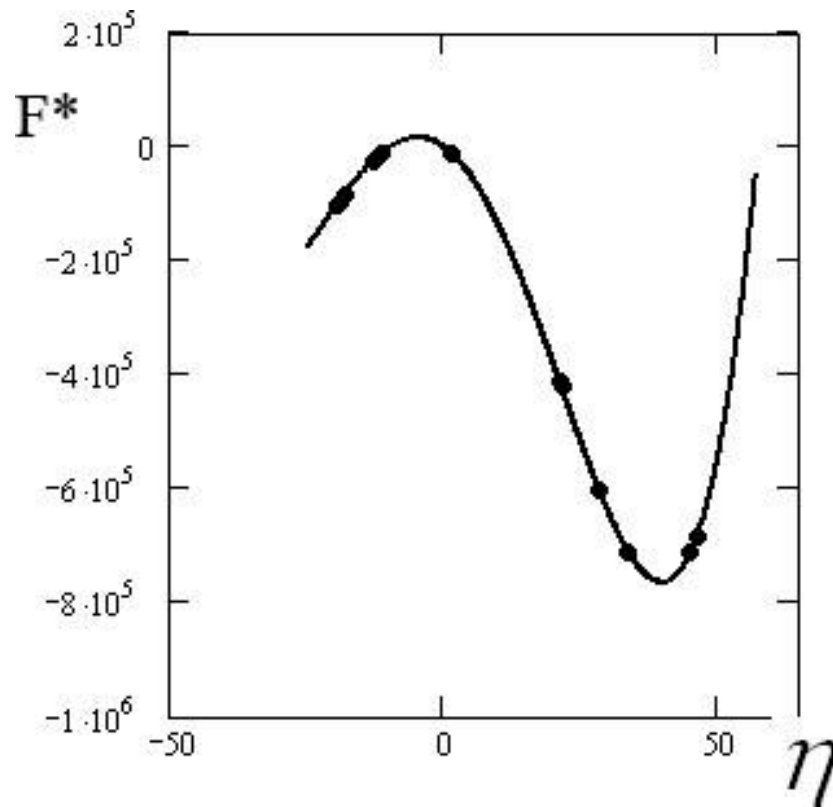


Рисунок 8.12 – Потенциальные функции для березняков разнотравных, формирующихся после сплошных вырубок в типе леса сосняк разнотравный на Среднем Урале

### Выводы

1. В процессе построения обобщенной модели формирования растительности на сплошных вырубках нами объяснены основные понятия и уравнения теории катастроф, приведена последовательность анализа и построения математической модели.

2. Совмещение теоретических положений и экспериментальных данных позволило впервые для лесных экосистем построить количественную математическую модель, учитывающую региональные и экотопические особенности динамики растительности после сплошных рубок. На ее основе возможны количественные прогнозы реальных ситуаций.

3. Впервые в рамках теории катастроф математически формализовано существование в пределах одного экотопа альтернативных линий сукцессионной динамики (вырубок и лесов), предложены объективные, количественные методы оценки устойчивости восстановительно-возрастного развития: вид потенциальной функции, удаленность от сепаратрисы и величина восприимчивости, которые обеспечивают объективное прогнозирование состояния описываемых объектов.

4. Проведенные расчеты показали хорошее соответствие теории и экспериментальных данных для различных типов леса и разрушающих воздействий. Это свидетельствует о

перспективности использования теории катастроф для описания, анализа и прогнозирования динамики лесных экосистем, оценки устойчивости развития и выявления кризисных ситуаций.

5. Диссертационная работа инициирует междисциплинарный подход к изучению динамики лесной растительности, который обеспечит обоснованное прогнозирование состояния описываемых объектов. Предложенный в диссертационной работе междисциплинарный подход является универсальным и может использоваться для любых лесов с целью построения количественных моделей реальных ситуаций, объективного прогнозирования смен растительности, планирования устойчивого природопользования.

5. Построенные модели и полученные результаты используются для дальнейшего развития методов моделирования лесных экосистем на основе самоорганизующихся нейронных сетей (Ланкин и др., 2012; Lankin et al., 2012; Lankin, Ivanova, 2015) и теории игр (Володченкова, Гуц, 2018).

## Глава 9. Рекомендации по использованию результатов исследований

Полученные результаты по лесной типологии, процессам естественного лесовозобновления, апробации методов анализа данных целесообразно использовать как в научных исследованиях, так и в прикладных целях.

Многолетние широкомасштабные лесотипологические исследования дополнили имеющуюся информацию сведениями о разнообразии и особенностях типов леса, об их экологическом пространстве, диагностических и доминирующих видах, структуре и продуктивности травяно-кустарничкового яруса, ранговых распределениях обилий видов растений Южного и Среднего Урала. В связи с исчезновением коренных лесов ценность данной информации не вызывает сомнений и может служить эталонной при анализе трансформации растительного покрова.

Выявленные ценотические и экотопические особенности естественного возобновления сосны обыкновенной, ели сибирской и пихты сибирской – главных лесообразующих видов горных лесов Урала – могут служить основой изучения и регулирования естественных лесовосстановительных процессов. Полученные данные о численности и возрастной структуре подроста хвойных древесных растений под пологом леса целесообразно использовать для планирования технологии рубок и лесовосстановительных мероприятий. Принципиальное значение для обоснования способов ведения лесного хозяйства в горных темнохвойных лесах имеет, показанная в работе, роль предварительных генераций подроста ели сибирской и пихты сибирской для восстановления коренных лесов на сплошных вырубках. В эксплуатационных темнохвойных и коротко-производных лесах рекомендуется применять выборочные и постепенные рубки с максимальным сохранением подроста. В процессе таких рубок желательно не только сохранение подроста древесных растений, но и среды обитания, что позволяет предотвратить нежелательную смену хвойных лесов на лиственные. Проведенные нами экспериментальные рубки в коротко-производных березняках показали отличные результаты (рисунок 9.1 и 9.2). Рубки были проведены в 63-65-летних древостоях в Зауральской холмисто-предгорной провинции Среднего Урала. Основной целью эксперимента являлась вырубка верхнего яруса древостоя состоящего из березы, максимальное сохранение темнохвойной компоненты и переформирование смешанного древостоя в темнохвойный. В результате восстановление экосистемных функций фитоценоза должно реализоваться в наиболее короткие сроки.



Рисунок 9.1 – Участок коротко-производного леса до экспериментальных рубок



Рисунок 9.2 – Участок леса после экспериментальных рубок с максимальным сохранением темнохвойного яруса

Полученные данные о лесовозобновлении на вырубках и гарях, и в особенности о соотношении численностей сосны и березы в зависимости от лесорастительных условий целесообразно использовать при планировании лесовосстановительных мероприятий. Так, например, в брусничниковых и ягодниковых типах леса можно рассчитывать на естественное восстановление хвойных лесов, как на вырубках, так и на гарях. Однако в связи с полученными данными о достаточно высокой численности березы на вырубках даже в этих типах леса необходимо проводить мониторинг состояния формирующегося древостоя и при необходимости назначать рубки ухода. На рисунке 9.3 видно, что на вырубке при достаточной для формирования древостоя численности подроста сосны, береза обгоняет ее в росте, и сосна попадает под ее угнетение.



Рисунок 9.3 – Наблюдение за формированием леса на вырубке в брусничниковом типе леса

Полученные для всего спектра субкоренных лесов и производных фитоценозов различного состава и возраста показатели фитомассы (строго количественная характеристика) травяно-кустарничкового яруса являются уникальными и могут быть использованы как в научных исследованиях для сравнительного анализа или служить источником данных для



прогнозных моделей (именно таких данных в большинстве случаев катастрофически не хватает), так и для мониторинга состояния и динамики экосистем.

Приведенные в диссертационной работе ранговые распределения фитомассы видов для условно-коренных лесов можно считать эталонными для типов леса изученных регионов. Каждый тип леса характеризуется определенным ранговым распределением, которое может выступать его отличительным признаком. Метод сравнительно новый и только начинает использоваться в экологии (Левич, 1980; Шитиков и др., 2011). Однако проведенные исследования позволяют считать его перспективным и рекомендовать к использованию. Они окажутся ценными в анализе климатических и антропогенных смен растительности, так как предполагается, что под внешним воздействием ранговое распределение стремится остаться без изменений до некоторых критических значений действующих факторов, а затем претерпевают изменения, которые свидетельствуют о потере устойчивости. При работе с ранговыми распределениями следует обращать внимание не только на длину (показывает альфа разнообразие) и крутизну полученных линий (указывает на количество содоминирующих видов), но и на соответствие теоретическим законам и отклонение от них в различных областях распределения. Целесообразно тестировать несколько теоретических законов и по  $r^2$  выявлять наилучшую аппроксимацию. Данный анализ необходим для того, чтобы выявить отношение видов экосистемы к ресурсу. Законы Гиббса или Мотомуры реализуется при линейной зависимости организмов экосистемы от количества ресурса, а закон Ципра-Парето – при логарифмической зависимости, Мак-Артура – при дважды логарифмической зависимости. Кроме того, значения параметров аппроксимирующих функций могут служить мерой разнообразия и позволяют ранжировать условно-коренные леса и производные фитоценозы по этому показателю. По сравнению с традиционными индексами разнообразия ранговые распределения очень наглядны и дают большее количество информации. Выявленные закономерности трансформации ранговых распределений под воздействием сплошных рубок можно проверить на других объектах и сравнить полученные результаты, что позволит получить более глубокие сведения о динамике лесных фитоценозов и механизмах поддержания устойчивости.

Исследования подтвердили возможность и целесообразность использования эколошк Цыганова, которые имеют ряд преимуществ для уральских объектов по сравнению с другими экологическими шкалами. Во-первых, в них можно найти большее количество видов, которые произрастают на Урале, во-вторых, большой спектр исследуемых факторов, а именно десять, в то время как в шкалах Раменского всего пять факторов (Раменский и др., 1956). Экологические шкалы могут быть полезными для оценивания условий экотопа и наиболее значимых

экофакторов, в том числе и прогнозных оценок, когда прямые измерения по каким-либо причинам невозможны. Кроме того экошкалы позволяют дать экологическую характеристику типу леса и контролировать стабильность экосистемы в условиях климатических смен. Полученные экологические характеристики для условно-коренных лесов Южного и Среднего Урала можно считать эталонными для типов леса изученных регионов и использовать в целях мониторинга. Для расчета экологического пространства использованы два метода: классический и регрессионный, что также полезно с практической точки зрения. Сходство оценок, полученных различными методами, свидетельствует о правильности полученных баллов, а существенная разница в результатах, предполагает более осторожное отношение к расчетным значениям, как первого, так и второго метода. При использовании только одного подхода данный вывод сделать невозможно. В целом можно сказать, что большая разница между результатами, полученными различными методами расчета, чаще возникает в случаях с низким альфа разнообразием фитоценозов.

Предложенные нелинейные модели могут использоваться для прогнозирования динамики лесной растительности в условиях изменения климата и антропогенного воздействия, выявления кризисных ситуаций, разработки сценариев устойчивого лесопользования. Применение взаимосвязанных дифференциальных логистических уравнений показало отличные результаты, и они могут быть рекомендованы к применению. Среди их достоинств можно отметить следующие: хорошо описывают формирование фитоценозов и взаимосвязи между ярусами и видами, что позволяет формализовать эти процессы; так как логистические уравнения являются функционалом (то есть самой оптимальной траекторией развития из возможных), то по отклонению точек (эмпирических данных) от этой теоретической линии можно судить о напряженности лесовосстановления, а при больших отклонениях о кризисных ситуациях и возможности изменения траектории; позволяют рассчитать динамические характеристики такие как: характерный момент времени (оценивает скорость трансформации структуры) и емкость экологической ниши (характеризует максимальные значения, которые могут поддерживаться экосистемой длительное время); при изменении начальных условий (например, количества сохраненного на вырубке подроста древесных растений или интенсивности развития травяно-кустарничкового яруса в зависимости от погодных условий конкретного года) очень легко и быстро можно внести изменения в модель и получить новый прогноз о скорости восстановления фитоценоза. Из недостатков можно отметить требование специальной математической подготовки.

Методы теории катастроф Рене Тома могут быть полезными для изучения механизмов смен, выявления кризисных ситуаций, оценки устойчивости состояний и динамики лесных

фитоценозов. Предложенная методика позволяет создавать количественные прогнозные модели для конкретных типов леса и линий восстановительной динамики. Главный недостаток первых теоретико-катастрофических моделей: только качественное прогнозирование, в настоящее время исправлен. Разработаны математические алгоритмы, позволяющие перейти на количественный уровень, доказана их эффективность, а также предложены программные продукты, дающие возможность практической реализации для пользователей. Большим достоинством подхода является выведение результатов в виде наглядных рисунков: графиков потенциальных функций. Если сама методика требует достаточной математической подготовки, то интерпретация результатов не представляет собой сложность. Сравнение графиков потенциальных функций позволяет проводить анализ динамических рядов фитоценозов и получать ряд результатов. Проведенные расчеты показали, что даже в условиях скудной статистики данный подход дает неплохие результаты. Кроме того модели на основе теории катастроф могут использоваться для выявления желаемой траектории динамики и скорости восстановления экосистем или для прогнозирования возможных сценариев развития природных комплексов в зависимости от антропогенного воздействия или климатических изменений. Предложенная методика является универсальной и может с успехом использоваться для лесов, произрастающих в различных климатических зонах и подверженных различным природным и антропогенным воздействиям.

## Заключение

За 25-летний период исследований детально исследована растительность двух гетерогенных в ландшафтном и лесотипологическом плане районов Урала: западных низкогорий Южного Урала и Зауральской холмисто-предгорной провинции Среднего Урала. Изучены все основные типы леса, выделенные на основе генетической лесной типологии: 9 для западных низкогорий Южного Урала и 12 для Зауральской холмисто-предгорной провинции Среднего Урала.

Впервые на основе данных о продуктивности травяно-кустарничкового яруса выполнен неотклоняемый анализ соответствий (DCA), получены ординационные диаграммы и проведен анализ факторов детерминирующих структуру и разнообразие условно-коренных лесов Южного и Среднего Урала. Как показали результаты исследований, уровень биоразнообразия типов леса западных низкогорий Южного Урала связан в первую очередь со значительным перепадом высот над уровнем моря, который оказывает влияние на действующие климатические и эдафические факторы. Для лесов Зауральской холмисто-предгорной провинции уровень биоразнообразия типов леса в большей степени зависит от факторов, находящихся в зависимости от рельефа: мощности почв, их увлажнении и трофности.

Впервые для условно-коренных лесов получены ранговые распределения фитомассы видов травяно-кустарничкового яруса, которые можно считать эталонными для типов леса изученных регионов. Для лесов дренированных местообитаний ранговые распределения хорошо соответствуют закону Ципра-Парето, что свидетельствует о логарифмической зависимости фитомассы видов от ресурса. На переувлажненных почвах выявлено большее соответствие закону Гиббса (Мотомуры). Эта модель распределения реализуется при линейной зависимости фитомассы от ресурса. В связи с постоянно возрастающим уровнем антропогенного воздействия и уничтожением коренных лесов эталонные ранговые распределения имеют особое значение. Полученные данные о структуре, продуктивности и ранговых распределениях травяно-кустарничкового яруса дополнили схемы типов леса Е.М. Фильрозе для Южного Урала (1983) и кадастр типов леса, составленный Б.П. Колесниковым, Р.С. Зубаревой и Е.П. Смолоноговым (1973) для Среднего Урала.

Проведено широкомасштабное исследование процессов естественного возобновления ели сибирской, пихты сибирской и сосны обыкновенной под пологом древостоев, на сплошных вырубках и гарях во всем спектре лесорастительных условий западных низкогорий Южного Урала и Зауральской холмисто-предгорной провинции Среднего Урала. Получены данные о численности, жизненности и возрастной структуре подроста. Результаты исследований показали, что в лесах западных низкогорий Южного Урала в составе подроста из хвойных

древесных растений преобладает пихта сибирская, а наиболее редко встречается подрост сосны обыкновенной. В Зауральской холмисто-предгорной провинции, напротив, наиболее обычным древесным видом хвойных растений в составе подроста является сосна обыкновенная, а пихта сибирская встречается наиболее редко.

Впервые для лесов Урала выявлены особенности возрастной структуры подроста древесных растений под пологом лесов в преобладающих типах леса. Для западных низкогорий Южного Урала под пологом субкоренных ельников и разных вариантов эколого-динамических рядов формирования темнохвойных лесов (под воздействием выпаса, пожаров, после зимних рубок) установлена стабильность появления новых генераций ели сибирской и пихты сибирской. Это свидетельствует о сохранении способности к самовосстановлению численности и структуры их ценопопуляций. Следовательно, сохраняется и способность к авторегуляции динамики лесной экосистемы, обеспечивается ее устойчивое развитие. В коротко-производных березняках выявлено серьезное нарушение возрастной структуры ценопопуляций темнохвойных видов. На начальных этапах восстановительно-возрастных смен фитоценозов появление новых генераций ели сибирской и пихты сибирской полностью подавлено, отмечены только предварительные рубки генерации. На более поздних этапах сукцессий восстанавливается способность к появлению новых поколений темнохвойных видов. В длительно-производных березняках новые генерации ели сибирской и пихты сибирской появляются нестабильно, в большинстве случаев отмечаются лишь отдельные малочисленные поколения. Восстановление доминирования в древостое темнохвойных видов замедлено и возможно лишь после естественного распада березняков в возрасте старше 120 лет. В случае формирования устойчиво-производных осинников восстановление коренных темнохвойных лесов растягивается на неопределенный срок, что в сочетании с широким распространением устойчиво-производных осинников серьезно подрывает позиции темнохвойных лесов в регионе исследования.

Под пологом условно-укоренных лесов Зауральской холмисто-предгорной провинции выявлено наиболее обильное естественное возобновление сосны обыкновенной в сосняках брусничниковых и ягодниковых, наиболее обильное естественное возобновление ели сибирской – в ельниках-сосняках зеленомошничково-ягодниковых. Подрост как ели сибирской, так и сосны обыкновенной в этих типах леса является разновозрастным. Для открытых местообитаний установлено, что во всем топоэкологическом профиле численность подроста сосны обыкновенной на гарях больше, чем на вырубках, а с увеличением мощности почв численность подроста сосны обыкновенной быстро снижается как на вырубках, так и на гарях. Наиболее благоприятные условия для возобновления сосны обыкновенной складываются на гарях и вырубках в брусничниковом и ягодниковом типах леса. Численность подроста березы на

вырубках, как правило, выше, чем на гарях. Наиболее благоприятными условиями для возобновления березы являются ягодниковый и орляковый типы леса (мощность почв 20-60 см). После пожаров на мелких почвах в составе подроста преобладает сосна обыкновенная, на мощных почвах – береза. После сплошных рубок преобладание в составе подроста сосны обыкновенной возможно лишь в брусничниковом типе леса.

Изучены особенности дифференциации лесной растительности под воздействием сплошных рубок в наиболее продуктивных и распространенных типах еловых лесов Южного и Среднего Урала. Доказано расхождение линий восстановительно-возрастной динамики лесных экосистем в зависимости от интенсивности деструктивного воздействия и формирование на месте одного коренного типа леса различных растительных сообществ и линий динамики экосистем. Установлено, что сплошные рубки на Урале приводят к резким изменениям структуры всех ярусов лесных фитоценозов, которые сохраняются длительное время (более 100 лет), даже в случае коротко-восстановительных смен. Изменения затрагивают как видовой состав, продуктивность, так и соотношение обилий видов. Наиболее быстро восстановление темнохвойных лесов идет при сохранении на вырубке жизнеспособного темнохвойного подроста. Однако в данном случае наиболее сильно трансформируются (по сравнению с условно-коренными лесами) ранговые распределения обилий видов, как на Южном Урале, так и на Среднем. Ранговые распределения фитомассы видов травяно-кустарничкового яруса для всех изученных производных фитоценозов хорошо описываются экспоненциальной функцией, что соответствует распределению Гиббса-Мотомуры, которое реализуется при линейной зависимости видов экосистемы от ресурса.

Впервые для лесов Урала на основе систем взаимосвязанных дифференциальных логистических уравнений формализованы анализ и прогнозирование восстановительно-возрастной динамики растительности после сплошных рубок и пожаров. Впервые для преобладающих типов леса получены динамические характеристики восстановительных сукцессий (характерные периоды динамики, характерные моменты времени и время необходимое для восстановления исходной структуры), установлены характер и уровень взаимозависимостей между ярусами лесной растительности.

Впервые на основе теории катастроф разработаны количественные прогнозные модели лес-вырубка и лес-гарь, учитывающие региональные и экотопические особенности динамики растительности после сплошных рубок и пожаров, и верифицированы на примере преобладающих типов леса. Результаты представлены в виде графиков потенциальных функций. Модели позволяют генерировать количественные прогнозы реальных ситуаций. Также впервые формализовано существование в пределах одного экотопа альтернативных

линий сукцессионной динамики, предложены объективные, количественные методы оценки устойчивости: вид потенциальной функции и величина восприимчивости, которые обеспечивают объективное прогнозирование состояния описываемых объектов. Проведенные расчеты показали хорошее соответствие теории и экспериментальных данных для различных типов леса. Это свидетельствует о перспективности использования теории катастроф для анализа и прогнозирования динамики лесных экосистем и выявления кризисных ситуаций.

Диссертационная работа совмещает системный и междисциплинарный подходы к изучению динамики лесной растительности и включает исследование всех основных компонентов лесных фитоценозов (древостоя, подроста древесных растений и травяно-кустарничкового яруса) в их взаимосвязи с точки зрения лесоведения, геоботаники, традиционной статистики, нелинейной динамики и математической теории катастроф. Традиционные методы анализа данных позволили описать на уровне международных стандартов лесные фитоценозы, оценить уровень их биоразнообразия, выявить статистически значимые различия между ними и факторы, определяющие их биоразнообразие и динамику. Методы нелинейной динамики и теории катастроф помогли формализовать знания об объектах исследований и разработать количественные прогнозные модели. Использование всего комплекса методов позволило провести всестороннее изучение лесных экосистем. Нелинейные модели могут использоваться для выявления желаемой траектории динамики и скорости восстановления экосистем или для прогнозирования возможных сценариев развития природных комплексов в зависимости от антропогенного воздействия или климатических изменений. Предлагаемый в диссертационной работе подход является универсальным и может использоваться для любых лесов с целью построения количественных моделей реальных ситуаций, объективного прогнозирования смен растительности, планирования устойчивого природопользования.

## Список литературы

- Абатуров, Ю.Д. Краткая характеристика почв основных типов лесов Ильменского заповедника / Ю.Д. Абатуров // Вопросы развития лесного хозяйства на Урале. Ч. II Челябинская область / Тр. Ин-та биол. УФАН СССР. – Свердловск, 1961. Вып.25. – С. 47–57.
- Абатуров, Ю.Д. Некоторые особенности биологического круговорота азота и зольных элементов в сосняках Южного Урала / Ю.Д. Абатуров // Лесные почвы Урала / Тр. ин-та биологии УФАН СССР. – Свердловск, 1966. – С. 69–79.
- Абдурахманова, З.И. Лесорастительные условия сосняков Дагестана / З.И. Абдурахманова, В.Ю. Нешатаев, В.Ю.Нешатаева // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2015. – № 210. – С. 6–24.
- Агроклиматические ресурсы Свердловской области: справочник / И.Г. Качева, О.Б. Федотова, Г.С. Халевицкая и др. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 158 с.
- Александрова, В.Д. Изучение смен растительного покрова / В.Д. Александрова // Полевая геоботаника. – М.; Л.: Наука, 1964. – Т. 3. – С. 300–447.
- Александрова, В.Д. Классификация растительности: Обзор принципов классификации и классификационных систем в разных геоботанических школах / В.Д. Александрова.– Л.: Наука, 1969. – 275 с.
- Александрова, В.Д. Классификация растительности / В.Д. Александрова. – Л.: Наука, 1969. – 275 с.
- Алексеев, В.А. Световой режим леса / В.А. Алексеев. – Л. Наука, 1975. – 227 с.
- Алексеев, С.В. Рубки в лесах Севера / С.В. Алексеев. – М.; Л.: Гослесбумиздат, 1948.– 64 с.
- Алесенков, Ю.М. Восстановительно–возрастная динамика темнохвойных горных лесов Среднего Урала / Ю.М. Алесенков // Исследование лесов Урала: Мат. науч. чтений, посвящ. памяти Б.П. Колесникова. – Екатеринбург: Изд–во УрО РАН, 1997. – С. 31–34.
- Алехин В.В. Теоретические проблемы фитоценологии и степеведения / В.В. Алехин. –М.: Изд–во МГУ, 1986.– 212с.
- Алисов, Б.П. Климат СССР / Б.П. Алисов. – М.: Изд–во МГУ, 1956. – 128 с.
- Андреев, Г.В. Восстановительно–возрастная динамика темнохвойных древостоев на Южном Урале / Г.В. Андреев // Исследования лесов Урала: матер.науч. чтений, посвященных памяти Б.П. Колесникова. – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – С. 5–10.
- Андреев, Г.В. Формирование и рост поколений ели и пихты II яруса нескольких рядов восстановительно–возрастных смен на Южном Урале / Г.В. Андреев // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения.– Красноярск, 2004. – С. 206–210.
- Андреев, Г.В. Типы восстановления древостоев в западных низкогорьях Южного Урала / Г.В.



- Андреев // Материалы научных чтений, посвященных памяти Б.П. Колесникова.– Екатеринбург, 1997.– С. 34–37.
- Андреев, Г.В. Восстановительно–возрастная динамика темнохвойных древостоев на Южном Урале (на примере северной части западного макросклона): автореф. дисс... канд. с.–х. наук: 06.03.03 / Андреев Георгий Васильевич. – Екатеринбург, 2005.– 26 с.
- Андреев, Г.В. Динамика высот основных лесообразующих видов на Южном Урале / Г.В. Андреев // Современные проблемы устойчивого управления лесами, инвентаризации и мониторинга лесов: матер. междунар. науч.–технич. конф. 22–24 нояб. 2006. – СПб., 2006. – С.33–41.
- Андреев, Г.В. Восстановительно–возрастная динамика темнохвойных древостоев на западном макросклоне Южного Урала / Г.В. Андреев // Лесное хозяйство. – 2007. – №3. – С. 38–40.
- Андреев, Г.В. Почвы и растительность западных низкогорий Южного Урала и тенденции их антропогенной динамики / Г.В. Андреев, Е.М.Фильрозе, Н.С.Четкина // Современные проблемы почвоведения и экологии: тезисы докл. Конф. молодых ученых факультета почвоведения МГУ. – М.: МГУ, 1994. – С. 4.
- Андреева, Е.Н. Методы изучения лесных сообществ / Е. Н. Андреева, И. Ю. Баккал, В. В. Горшков и др. – СПб.: НИИ Химии СПбГУ, 2002. – 240 с.
- Анучин, Н.П. Лесная таксация: учебник для ВУЗов / Н.П. Анучин. – 5–е изд., доп. – М.: Лесн. пром–сть, 1982. – 552 с.
- Апонин, Ю.М. Иерархия моделей математической биологии и численно–аналитические методы их исследования / Ю.М.Апонин, Е.А.Аполина // Математическая биология и биоинформатика, 2007.– Т. 2.– № 2.– С. 347–360.
- Арефьева, З.Н. К характеристике генезиса бурых горно–лесных почв Челябинской области / З.Н.Арефьева, Е.М.Фильрозе // Вопросы генезиса бонитировки и повышения плодородия почв Южного Урала и Среднего Поволжья.– Уфа, 1974. – С. 47–51.
- Арманд, А.Д, Кушнарера Г.В. Переход экосистем через критические состояния в пространстве / А.Д Арманд, Г.В. Кушнарера // Экосистемы в критических состояниях. М.: Наука, 1989. – С. 75-138.
- Арнольд, В.И. «Жесткие» и «мягкие» математические модели / В.И. Арнольд. – М.: МЦНМО, 2000.– 32 с.
- Аткина, Л.И. Формирование полей при ландшафтных рубках / Л.И.Аткина, Л.В.Булатова // Леса России и хозяйство в них. – 2010. – № 2 (36). – С. 25–31.
- Бабой, С.Д. Ландшафтный подход к выявлению разнообразия горных лесных экосистем / С.Д. Бабой //Исследование компонентов лесных экосистем Сибири: матер.конф. молодых

- ученых. – Красноярск: Ин-т леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2008. – С. 5–7.
- Базыкин, А.П. Математическая биофизика взаимодействующих популяций / А.П. Базыкин. – М.: Наука, 1985.– 180 с.
- Бармин, А.Н. Использование шкал Л.Г. Раменского и DCA–ординации для индикации изменений условий среды в Волго–Ахтубинской пойме / А.Н.Бармин, М.М.Иолин, И.С.Шарова, К.А.Старичкова, А.Н.Сорокин, Л.Ф.Николайчук, В.Б.Голуб // Изв. Самар. НЦ РАН. – 2010. – Т. 11, № 1(4). – С. 577–582.
- Башенина, Н.В. Происхождение рельефа Южного Урала / Н.В. Башенина. – М.: ОГИЗ, Географгиз, 1948. – 232 с.
- Богатырев, К.П. Почвы горного Урала / К.П. Богатырев, Н.А. Ногина // О почвах Урала, Западной и Центральной Сибири: сборник / ред. Е. Н. Иванова. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – С. 5–48.
- Богословский, С.А. Способы рубки в еловых лесах Верхнекамского бассейна / С.А. Богословский // Лесное хозяйство, 1940. – № 2. – С. 3–10.
- Борисевич, Д.В. Рельеф и геологическое строение / Д.В. Борисевич // Урал и Приуралье.– М.: Наука, 1968. – С. 19–81.
- Борисевич, Д.В. Рельеф и геологическое строение / Д.В. Борисевич // Урал и Приуралье. – М.: Наука, 1968. – С.19–82.
- Боярская, А.А. Климаты СССР / А.А. Боярская.– М.: Просвещение, 1967. – 210 с.
- Бузук, Г.Н. Фитоиндикация: применение регрессионного анализа / Г.Н.Бузук, О.В.Созинов // Вестник фармации. –2007. –№3 (37). –С. 44–54.
- Бузук, Г.Н. Регрессионный анализ в фитоиндикации (на примере экологических шкал Д.Н. Цыганова) / Г.Н.Бузук, О.В.Созинов // Ботаника (исследования): сборник науч.тр. / Ин-т эксперимент.бот. НАН Беларуси. – Минск: Право и экономика, 2009. – Вып. 37. – С. 356–362.
- Бузыкин, А.И. Возможные риски развития лесного комплекса Красноярского края / А.И. Бузыкин, Т.М. Овчинникова, Л.С. Пшеничникова, В.Г. Суховольский //Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2008. – № 21–3. – С. 13–16.
- Булохов, А.Д. Фитоиндикация и ее практическое применение / А.Д. Булохов. – Брянск: Изд-во БГУ, 2004. – 245 с.
- Быков, Б.А. Геоботаника / Б.А. Быков. –Алма–Ата: Наука,1978. – 288 с.
- Быстрой, Г.П. Неравновесные системы: Целостность, эффективность, надежность / Г.П. Быстрой, Д.В. Пивоваров. – Свердловск: Изд-во Урал.гос. уни-та, 1989. – 187 с.
- Быстрой, Г.П. Объемы теневой экономики в обороте наркотиков в УрФО / Г.П. Быстрой, А.А. Комаровская, П.Е. Тетяев //Теневая экономика: Проблемы диагностики и нейтрализации:

- матер.науч. конф. – Екатеринбург: ИЭ УрО РАН, 2004.– С.120–121.
- Быстрой, Г.П. Подходы к моделированию динамики лесной растительности на основе теории катастроф / Г.П. Быстрая, Н.С. Иванова // Аграрный вестник Урала.–2010. – № 2(68). – С. 75–79.
- Валяев, В.Н. Возрастная структура ельников Мезенского района / В.Н. Валяев // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал.– 1961.– № 5. – С. 25–29.
- Варламов, И.П. О денудационных поверхностях и новейшей тектонике южной части Башкирского Предуралья и прилегающей территории Южного Урала / И.П. Варламов // Вопросы геоморфологии и геологии Башкирии. – Вып. 2.– Уфа, 1959. – С. 36–46.
- Василевич, В.И. Некоторые проблемы классификации фитоценологических объектов / В.И. Василевич // Ботанический журнал. – 1975. – Т. 60. – №5. – С. 617–626.
- Василевич, В.И. Доминанты в растительном покрове / В.И. Василевич // Ботанический журнал. – 1991. – Т.76. – №12. – С. 1674–1681.
- Василевич, В.И. Некоторые новые направления в изучении динамики растительности / В.И. Василевич // Ботанический журнал.– 1993. – Т.78. – С.1–15.
- Вахрушев, Г.В. Неотектоника и зональное развитие рельефа на Южном Урале / Г.В. Вахрушев // Вопросы геоморфологии и геологии Башкирии. – Вып. 2.– Уфа, 1959. – С. 69–79.
- Ведюшкин, М.А. Моделирование пространственных переходов между фитоценозами / М.А. Ведюшкин // Математическое моделирование популяций растений и фитоценозов. –М.: Наука, 1992. – С. 24-30.
- Виноградов, Б.В. Логистический анализ для численного нормирования показателей зон экологического неблагополучия / Б.В. Виноградов, В.В. Шакин // Доклады РАН, 1995. – Т. 341. –№ 5. – С. 709–713.
- Володченкова, Л.А. Описание и моделирование катастроф лесных биоценозов /Л.А. Володченкова, Н.А. Калинин //Вестник Челябинского государственного педагогического университета. – 2009. – № 12. – С. 298–309.
- Володченкова, Л.А. Катастрофы типа «бабочка» в эволюции лесных экосистем / Л.А. Володченкова, А.К. Гуц // Математические структуры и моделирование. – 2009. – Вып. 19. – С. 45-67.
- Володченкова, Л.А. Прогнозирование состояний соснового леса при нарастании засухи или пожарной опасности / Л.А. Володченкова, А.К. Гуц // Вестник Челябинского государственного педагогического университета. – 2010. – № 4. – С. 331–337.
- Володченкова, Л.А. Математическое моделирование стадий вымокания берёзовых лесов с помощью теории катастроф / Л.А. Володченкова, А.К. Гуц // Математические структуры и моделирование. – 2011. – № 24. – С. 19–33.

- Володченкова, Л.А. Моделирование равновесной эволюции формирования лесного биоценоза на сплошных вырубках / Л.А. Володченкова, А.К. Гуц // Математические структуры и моделирование. – 2018. – № 1 (45). – С. 52–58
- Вольтерра, В. Математическая теория борьбы за существование / В. Вольтерра. – М.: Наука, 1976. – 376 с.
- Воропанов, П.В. Особенности строения и роста еловых насаждений в лесах Севера / П.В. Воропанов // Лесн. хоз–во и лесн. пром–сть.– 1930. – № 4. – С. 17–28.
- Воропанов, П.В. Ельники Севера / П.В. Воропанов. – М.; Л.: Гослесбумиздат, 1950. – 179 с.
- Высоцкий, Г.Н. Избранные сочинения / Г.Н. Высоцкий. – М.: Изд–во АН СССР, 1962. – Т. 1. – 497 с., Т. 2. – 396 с.
- Галако, В. А. Восстановительно-возрастная динамика и товарная структура древостоев горно-лесной зоны Челябинской области / В. А. Галако, И. Ф. Коростелев, О.В. Толкач // Леса Урала и хозяйство в них : сб. науч. тр. / Урал.гос. лесотехн. акад. - Екатеринбург, 1993. – Вып. 16. – С. 73 - 81.
- Гальперин, М.И. Эталоны высоко–производительных естественных сосняков Урала / М.И. Гальперин, И.Ф. Коростелев // Инф. листок Свердловского межотраслевого ЦНТИ.– № 214–75. – Свердловск, 1975. – С. 1–4.
- Гафуров, Ф.Г. Почвы Свердловской области / Ф.Г. Гафуров. – Екатеринбург: Изд–во Урал.ун–та, 2008. – 391 с.
- Геология СССР.– М.: Недра, 1969. – Т. 12.– Ч. 1. – 724 с.
- Герасимова, М.И. География почв России: учебник / М.И. Герасимова. – 2–е изд. – М.: Изд–во МГУ, 2007. – 312 с.
- Герц, Э.Ф. Рациональная технология рубок с трелевкой заготовленной древесины мини–тракторами под пологом древостоя / Э.Ф. Герц, Н.Н. Теринов, Ю.Н. Безгина, А.Ф. Уразова, Т.А. Перепечина // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2017. – № 2 (356). – С. 119–129.
- Гилмор, Р. Прикладная теория катастроф / Р. Гилмор. –М.: Мир, 1984.–Т.1. – 350 с.–Т.2.–285 с.
- Гитерман, Р.Е. Этапы развития четвертичной растительности Якутии и их значение для стратиграфии / Р.Е. Гитерман // Труды ГИН. – Вып. 78. – М.: Изд-во АН, 1963. – 204 с.
- Горичев, Ю.П. Темнохвойные леса Южно–Уральского заповедника. Некоторые итоги их изучения / Ю.П. Горичев // Леса Башкортостана. Современное состояние и перспективы: матер. науч.–практ. конф. – Уфа, 1997. – С. 216–217.
- Горичев, Ю.П. О лесообразующей роли темнохвойных пород на Южном Урале / Ю.П. Горичев, А.Н. Давыдычев, А.Ю. Кулагин // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2017. – № 12 (212). – С. 48-50.

- Горичев, Ю.П. Почвенно–лесорастительные условия западной части Южно–Уральского заповедника / Ю.П. Горичев, А.Н. Давыдычев, А.Ю. Кулагин, Р.Р. Сулейманов // Вестник ОГУ. – 2009. – №6 (100). – С. 565–567.
- Горчаковский, П.Л. Важнейшие типы горных еловых и сосновых лесов южной части Среднего Урала / П.Л. Горчаковский // Сб. трудов по лесному хозяйству. – Свердловск: Свердл. кн. изд–во, 1956. – Вып. 3. – С. 7–50.
- Горчаковский, П.Л. Темнохвойная тайга Среднего Урала и прилегающей части Северного Урала / П.Л. Горчаковский // Материалы по классификации растительности Урала: тезисы докладов на совещании (окт. 1959г.). – Свердловск, 1959. – С. 18–22.
- Горчаковский, П.Л. Растительность / П.Л. Горчаковский // Урал и Приуралье. – М.: Наука, 1968. – С. 211–268.
- Горшков, В.В. Послепожарное восстановление сосновых лесов Европейского Севера / В.В. Горшков // Автореф. дис...докт. биол. наук. СПб, 2001. – 35 с.
- Горшков, В.В. Оценка эффекта возможного глобального потепления климата на восстановление характеристик лесных сообществ Севера / В.В. Горшков, И.Ю. Баккал, Н.И. Ставрова // ДАН России. – 1997. – Т. 355. – No 3. – С. 414–417.
- Грязькин, А.В. Экологические факторы регулирования возобновительных свойств таежных ельников (на примере преобладающих типов леса): автореф. дисс. ... докт. биол. наук: 03.00.16 / Грязькин, Анатолий Васильевич. – СПб., 1998. – 41 с.
- Громцев, А.Н. Динамика разнообразия лесных сообществ, флоры и фауны европейской тайги в естественных условиях и после антропогенных воздействий: опыт исследований и обобщения / А.Н.Громцев, А.В. Кравченко, Ю.П. Курхинен, С.В. Сазонов // Труды КарНЦ РАН. Сер. Биogeография. 2010. Вып. 10. No 1. С. 16–33.
- Громцев, А.Н. Структура и динамика коренных и производных лесов центральной части Западно–Карельской возвышенности / А.Н. Громцев, Н.В. Петров, А.В. Туюнен, В.А. Карпин // Труды КарНЦ РАН. Сер. Биogeография. – 2011. – Вып. 12. –No 2. – С. 119–126.
- Грязькин, А.В. Особенности естественного возобновления березы на вырубках / А.В. Грязькин, М.А. Новикова, Я.А. Новиков // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2016. – № 4 (352). – С. 81–88.
- Гуц, А.К. Модель ярусно–мозаичного леса и моделирование сукцессии / А.К. Гуц, Е.О. Хлызов // Математические структуры и моделирование. – 2011. – № 23. –С.19–30.
- Гуц, А.К. Кибернетика катастроф лесных экосистем / А.К. Гуц, Л.А. Володченкова. –Омск: КАН, 2012. – 219 с.
- Данилик, В.Н. Опыт проведения постепенных и выборочных рубок в горных темнохвойных лесах Южного и Среднего Урала / В.Н. Данилик // Леса Урала и хозяйство в них.– 1968. –

Вып. 1. – С.179–204.

Данилик, В.Н. Микроклимат на лесосеках различных способов рубок / В.Н. Данилик // Леса Урала и хозяйство в них.– 1970. – Вып. 4. – С.63–68.

Данилик, В.Н. Лесовосстановительные процессы при различных способах рубок в горных темнохвойных лесах Южного Урала / В.Н. Данилик, М.К. Мурзаева, В.А. Помазнюк // Леса Урала и хозяйство в них.– 1972. – Вып.7. – С.49–56.

Данилик, В.Н. Лесоводственная эффективность постепенных и выборочных рубок в ельниках Билимбаевского лесхоза / В.Н. Данилик, Г.П. Макаренко, М.К. Мурзаев, Н.Н. Теринов // Научные основы использования и воспроизводства таежных лесов Среднего Урала: сб. науч. трудов. – Свердловск, 1986. – С. 89–97.

Данилов, М.Д. Влияние плодоношения на структуру годичного слоя у ели / М.Д. Данилов // Ботанический журнал. – 1953. – Т.38. – №3. – С.367–377.

Дегтева С.В. Лиственные леса подзон южной и средней тайги Республики Коми. Авто-реф. дис. ... докт. биол. наук. Сыктывкар, 2002. 37 с.

Долуханов, А.Г. К вопросу о принципах классификации растительных сообществ / А.Г. Долуханов // Материалы по классификации растительности Урала.– Свердловск, 1959. – С.12–15.

Долуханов А.Г. Темнохвойные леса Грузии / А.Г. Долуханов. – Тбилиси: Мецниереба, 1964. – 127 с.

Дохман, Г.И. О системе диагностических признаков единиц растительности / Г.И. Дохман // Ботанический журнал. – 1960. – Т.45.– №5. – С. 637–648.

Дылис, Н.В. Структура лесного биогеоценоза / Н.В. Дылис. – М.: Наука, 1969.– 55с.

Дылис, Н.В. О горизонтальной структуре лесных биогеоценозов / Н.В. Дылис, А.И. Уткин, И.М. Успенская // Бюллетень Моск. об-ва испытателей природы. Отд. биол.– 1964. – Т. 69. – Вып. 4. – С. 65–73.

Дыренков, С.А. Восстановление лесов Прикамья в зависимости от способов рубок / С.А. Дыренков // Лесное хозяйство.– 1975. – №11. – С.19–20.

Дыренков, С.А. Структура и динамика ельников средней и южной тайги на Европейском Севере: автореф. дис. ... докт. биол. наук: 03.00.05 /Дыренков Станислав Алексеевич. – Л., 1976. – 42 с.

Дыренков, С.А. Структура и динамика таежных ельников / С.А. Дыренков. –Л.: Наука, 1984. – 174 с.

Дыренков, С.А. К созданию классификации наземных экосистем – обобщение перекрестного метода / С.А. Дыренков // Динамическая типология леса. – М.: Агропромиздат, 1989. – С. 4–14.

- Закс, Л. Статистическое оценивание / Л. Закс. – М.: Статистика, 1976. – 600 с.
- Залесов, С.В. Влияние проходных рубок на массу и продуктивность ассимиляционного аппарата сосны / С.В. Залесов // Леса Урала и хозяйство в них. –1988. – Вып. 14. – С. 152–160.
- Залесов, С.В. Повышение продуктивности сосновых лесов Урала / С.В. Залесов, Н.А. Луганский. – Екатеринбург: Урал.гос. лесотехн. ун–т, 2002. – 331 с.
- Залесова, Е.С. Проблема сохранения биологического разнообразия и ее решение при заготовке древесины / Е.С. Залесова, С.В. Залесов, В.Н. Залесов, А.С. Оплетаев, Д.А. Шубин // Успехи современного естествознания. – 2017. – № 6. – С. 56–60.
- Занг, В.–Б. Синергетическая экономика. Время и перемены в нелинейной экономической теории: пер. с англ. / В.–Б. Занг. – М: Мир, 1999.– 335 с.
- Зарубина, Л.В. Структурные и функциональные особенности подпологовой ели под влиянием комплексного ухода / Л.В. Зарубина. Диссертация на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук / Уральский государственный лесотехнический университет. Екатеринбург, 2017
- Заславский, Б.Г. Управление экологическими системами / Б.Г. Заславский, Р.А. Полуэктов. – М.: Наука, 1988. – 296 с.
- Зверев, А.А. Фитоиндикационный анализ: компьютерный подход / А.А. Зверев // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. – Барнаул: РПИК «АРТИКА», 2009. – С. 344–347.
- Золотова, Е.С. Лесотипологические особенности растительности и почв Зауральской холмисто–предгорной провинции: дис. ... канд. биол. наук: 06.03.02 / Золотова Екатерина Сергеевна. – Екатеринбург, 2013. – 208 с.
- Золотова, Е.С. Лесотипологическое исследование вырубок Зауральской холмисто–предгорной провинции / Е.С. Золотова, Н.С. Иванова // Известия Самарского научного центра РАН. – 2012. – Т.14. – № 1(4). – С. 1016–1019.
- Золотова, Е.С. Почвенные факторы формирования лесной растительности на вырубках–гарях Среднего Урала / Е.С. Золотова, Н.С. Иванова, И.В. Петрова // XXVII Любищевские чтения–2013. Современные проблемы эволюции и экологии: сб. мат. междунар. конф. – Ульяновск: УлГПУ, 2013. – С. 322–329.
- Зубарева, Р.С. Особенности роста молодых поколений ели и пихты в широколиственно–темнохвойных лесах Среднего Урала / Р.С. Зубарева // Динамика и строение лесов на Урале.– Свердловск, 1970.– С 135–149.
- Зубарева, Р.С. Изменение состава и продуктивности лесов Среднего Урала под влиянием географических и антропогенных факторов / Р.С. Зубарева // Эффективность использования лесных ресурсов и их восстановление в Западной Сибири. – Новосибирск, 1971. – С. 78–83.

- Зубарева, Р.С. Типологическая классификация вырубок темнохвойной тайги Среднего Урала / Р.С. Зубарева // Лесной журнал. – 1961. – № 5. – С. 32–35.
- Зубарева, Р.С. Лесорастительные условия и типы темнохвойных лесов горной полосы Среднего Урала / Р.С. Зубарева // Тр. ин-та биологии УФАИ СССР. – Свердловск, 1967. – Вып. 53. – С. 13–87.
- Зубарева, Р.С. Лесорастительные условия и типы леса Бисертского лесного массива / Р.С. Зубарева // Научные основы комплексного ведения лесного хозяйства (например Бисертского опытного леспромхоза): сб. статей. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1984. – С. 5–29.
- Зубарева, Р.С. Экологические аспекты характеристики лесов Среднего Урала / Р.С. Зубарева // Экологические основы рационального использования и воспроизводства лесов Урала. – Свердловск, 1986. – С. 9–11.
- Зубарева, Р.С. К характеристике почв еловых лесов горной полосы Среднего Урала / Р.С. Зубарева, В.П. Фирсова // Почвы и гидрологический режим лесов Урала: тр. ин-та биологии УФАИ СССР. – Свердловск, 1963. – С. 5–27.
- Иванова, Е.Н. Почвы Урала / Е.Н. Иванова // Почвоведение. – 1947. – № 4. – С. 213–226.
- Иванова, Е.Н. Горно-лесные почвы Среднего Урала / Е.Н. Иванова // Труды почв. ин-та им. В.В. Докучаева. – Ленинград: АН СССР, 1949. – Т.30. – С. 57–142.
- Иванова, Н.С. Оценка естественного восстановления лесов в западных низкогорьях Южного Урала (информационный листок) / Н.С. Иванова. – Екатеринбург: ЦНТИ, 1997. – 4 с.
- Иванова, Н.С. Методы классификации горных лесов Южного Урала / Н.С. Иванова // Лесоведение. – 2000. – № 4. – С. 16–21.
- Иванова, Н.С. Динамика продуктивности травяно-кустарничкового яруса в лесах западных низкогорий Южного Урала / Н.С. Иванова // Ботанический журнал. – 2007. – Т. 92. – № 9. – С. 1427–1442.
- Иванова, Н.С. Биогеоценотический и генетический подходы в лесной типологии / Н.С. Иванова // Международный журнал экспериментального образования. – 2011. – № 6. – С. 8–9.
- Иванова, Н.С. Информационный Интернет-ресурс «Генетическая типология и динамика леса» [Электронный ресурс] / Н.С. Иванова // Международный журнал экспериментального образования. – 2011. – № 9. – С. 32–33. – Режим
- Иванова, Н.С. Типы леса западных низкогорий Южного Урала [Электронный ресурс] / Н.С. Иванова // Известия Самарского научного центра РАН. – 2012. – №1. – С. 1020–1023. – Режим доступа: [www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2012/2012\\_1\\_1020\\_1023.pdf](http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2012/2012_1_1020_1023.pdf)
- Иванова, Н.С. Особенности структуры древостоя и подроста условно-коренных ельников в западных среднегорьях Южного Урала / Н.С. Иванова, Г.В. Андреев, А.Г. Иванов //



Актуальные проблемы лесоведения.– Екатеринбург, 1996а. – С.27–29.

- Иванова, Н.С. Рациональное использование возобновительного потенциала горных темнохвойных лесов / Н.С. Иванова, Е.М. Фильрозе, Г.В. Андреев // Экологические проблемы промышленных регионов: тезисы докладов науч.–практич. семинара на международной выставке «Уралэкология–98». – Екатеринбург, 1998. – С. 173.
- Иванова, Н.С. Естественное восстановление структуры ценопопуляций ели сибирской и пихты сибирской в темнохвойных лесах Южного Урала / Н.С. Иванова, Г.В. Андреев// Аграрный вестник Урала.– 2008.– № 6.– С.82–86.
- Иванова, Н.С. Естественное восстановление структуры ценопопуляций ели сибирской и пихты сибирской под пологом коротко–производных березняков в горах Южного Урала / Н.С. Иванова, Г.В. Андреев// Аграрный вестник Урала.– 2008.– № 7. – С. 75–77.
- Иванова, Н.С. Естественное восстановление структуры ценопопуляций ели сибирской и пихты сибирской под пологом длительно–производных березняков в горах Южного Урала / Н.С. Иванова, Г.В. Андреев// Аграрный вестник Урала.– 2008.– № 8. – С. 74–76.
- Иванова, Н.С. Естественное восстановление структуры ценопопуляций ели сибирской и пихты сибирской в темнохвойных лесах Южного Урала / Н.С. Иванова, Г.В. Андреев// Аграрный вестник Урала.– 2008.– № 6.– С.82–86.
- Иванова, Н.С. Устойчиво–производные осинники западных низкогорий Южного Урала / Н.С. Иванова, Г.В. Андреев// Аграрный вестник Урала.– 2008.– № 10. – С.91–92.
- Иванова, Н.С. Модель формирования структуры древесного яруса на вырубках. Ч.1. Управляющие параметры / Н.С. Иванова, Г.П. Быстрой // Аграрный вестник Урала. – 2010. – №5. – С. 85–89.
- Иванова, Н.С. Планируемый природный парк «Истоки реки Исети» – основа экологической безопасности города Екатеринбурга / Н.С. Иванова, Г.П. Быстрой, Е.С. Золотова, С.А. Охотников, И.А. Лыков // Охраняемые природные территории – основа экологической устойчивости региона: матер. науч.–практ. конф. – Уфа: Гилем, 2010. – С. 81–86.
- Иванова, Н.С. Развитие генетической лесной типологии в России / Н.С. Иванова // Современные наукоемкие технологии. – 2010. – № 12. – С. 94–95.
- Иванова, Н.С. Факторы типологического и видового разнообразия лесов Зауральской холмисто–предгорной провинции / Н.С. Иванова, Е.С. Золотова // Фундаментальные исследования. –2011. –№ 12. – С. 275–280.
- Иванова, Н.С. Модель восстановительно–возрастной динамики лесов Зауральской холмисто–предгорной провинции / Н.С. Иванова, Г.П. Быстрой, С.А. Охотников, Е.С. Золотова // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 4. – Режим доступа: [www.science-education.ru/98-4754](http://www.science-education.ru/98-4754).

- Иванова, Н.С. Биоразнообразие условно–коренных лесов Зауральской холмисто–предгорной провинции / Н.С. Иванова, Е.С. Золотова // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – №1. – Режим доступа: <http://www.science–education.ru/107–8563>
- Иванова, Н.С. Новый междисциплинарный подход к изучению структуры и динамики лесных экосистем / Н.С. Иванова, Е.С. Золотова, И.В. Петрова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2013. – № 2(40). – С. 14–17.
- Иванова, Н.С. Факторы типологического и видового разнообразия лесов Зауральской холмисто–предгорной провинции / Н.С. Иванова, Е.С. Золотова // Фундаментальные исследования. – 2011. – №12. – С. 275–280.
- Иванова, Ю.Д. Моделирование сдвига границ растительных экотонов горных экосистем под воздействием климата / Ю.Д. Иванова, В.Г. Суховольский // Сложные системы в экстремальных условиях: матер. XIX Всероссийского симпозиума с международным участием. Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук». – 2018. – С. 93–95.
- Ивашин, Д.С. Естественное возобновление обезлесенных площадей на Южном Урале / Д.С. Ивашин // Лесное хозяйство.– 1952. – №12. – С.27–29.
- Ивашкевич, Б.А. Дальневосточные леса и их промышленная будущность / Б.А. Ивашкевич. – М.; Хабаровск: ОГИЗ; Дальгиз, 1933.– 169 с.
- Игошина, К.Н. Растительность Урала / К.Н. Игошина // Растительность СССР и зарубежных стран.– М.–Л.: Наука, 1964. – С. 83–230.
- Изюмский, П.П. Таксация тонкомерного леса / П.П. Изюмский. – М.: Лесная пром–сть, 1972. – 88 с.
- Ипатов, В.С. Исследование структуры растительных сообществ: автореф. дис... докт. биол. наук: 03.00.05 /Ипатов Виктор Семенович.– Тарту, 1971. – 55 с.
- Ипатов, В.С. Отражение динамики растительного покрова в синтаксономических единицах / В.С.Ипатов// Ботанический журнал. – 1990. – Т. 75. – №10. –С.1380–1388.
- Ипатов, В.С. Влияние кислотности на характер травяно–кустарничкового покрова в еловом лесу / В.С. Ипатов, Л.А. Кирикова, В.Г. Агаркова // Экология. – 1977. – № 5. – С. 38–44.
- Ипатов, В.С. К вопросу о континууме и дискретности растительного покрова / В.С. Ипатов, Л.А. Кирикова // Ботанический журнал. – 1985. – Т.70. – №7. – С.885–895.
- Ипатов, В.С. Основные теоретические подходы к динамической типологии леса / В.С. Ипатов, Г.Г. Герасименко // Лесоведение, 1992. – №4. – С 3–9 с.
- Исаева, Р.П. Выживаемость и рост елового подроста на концентрированных вырубках Предуралья / Р.П. Исаева // Леса Урала и хозяйство в них.– 1968а. – Вып. 1. – С.205–232.

- Исаева, Р.П. Устойчивость и эффективность еловых обсеменителей в таежной зоне Предуралья / Р.П. Исаева // Леса Урала и хозяйство в них.– 1968б.– Вып. 1.– С.233–245.
- Исаева, Р.П. Особенности формирования молодняков на сплошных концентрированных вырубках в темнохвойных лесах / Р.П. Исаева // Леса Урала и хозяйство в них, 1975. – Вып.8. – С.59–69.
- Исаев, А. С. Моделирование лесообразовательного процесса: феноменологический подход / А.С. Исаев, В.Г. Суховольский, Р.Г. Хлебопрос, А.И. Бузыкин, Т.М. Овчинникова //Лесоведение. – 2005. – № 1. – С. 1–9.
- Исаев, А. С. Феноменологические модели роста лесных насаждений / А.С. Исаев, В.Г. Суховольский, Т.М. Овчинникова // Журнал общей биологии. – 2008. – Т. 69. – № 1. – С. 3–9.
- Исаев, А. С. Сукцессии в лесных ценозах: модель фазового перехода второго рода / А.С. Исаев, В.Г. Суховольский, А.И. Бузыкин, Т.М. Овчинникова //Журнал общей биологии. –2009. – Т. 70.– № 6. – С. 451–458.
- Исаев, А. С. Сукцессионные процессы влесных ценозах: модель фазовых переходов второго рода / А.С. Исаев, Т.М. Овчинникова, В.Г. Суховольский, С.А. Мочалов, Д.Л. Сотниченко // Лесоведение. – 2012. – № 3. – С. 3–11.
- Исаева, Р.П. Естественные лесовосстановительные процессы в подзонах южной тайги и темнохвойно–широколиственных лесов Урала / Р.П. Исаева, Н.А. Луганский // Лесообразовательный процесс на Урале и Зауралье.–1974. – С.94–128.
- Исаева, Р.П. Естественные лесовосстановительные процессы в подзонах южной тайги и темнохвойно–широколиственных лесов Урала / Р.П. Исаева, Н.А. Луганский // Лесовосстановительный процесс на Урале и в Зауралье. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1975. – Вып. 93. – С. 94–128.
- Исаева, Р.П. Хозяйственные группы типов леса как основа специализации комплексов лесохозяйственных мероприятий / Р.П. Исаева, Н.А. Луганский // Леса Урала и хозяйство в них. – Свердловск, 1980. – Вып. 12. – С. 13–34.
- Исаева, Р.П. Лесовосстановление на Урале / Р.П. Исаева, Н.А. Луганский // Лесн. хоз–во. – 1981. – № 10. – С. 38–41.
- Исмаилова, Д.М. Барьерно–дождевые леса: риски деградации в экстремальных условиях / Д.М. Исмаилова, Д.И. Назимова //Сложные системы в экстремальных условиях. – Красноярск: КНИЦ СО РАН, 2008. – С. 154–161.
- Исмаилова, Д.М. Применение ГИС для анализа связи лесной растительности с рельефом на примере барьерно–дождевых ландшафтов Западного Саяна / Д.М. Исмаилова, С.Д. Бабой, А.А. Гостева, Д.И. Назимова // Геоинформатика. – 2011. – № 3. – С. 29–35.

- Кабаков, Р. И. R в действии. Анализ и визуализация данных в программе R / Р.И. Кабаков / пер. с англ. П. Волковой. – М.: ДМК Пресс, 2014. – 580 с.
- Кайгородов, А.И. Естественная зональная классификация климатов земного шара / А.И. Кайгородов. – М., Изд-во АН СССР, 1955.
- Каменский, Г.Г. Почвенные районы Свердловской области и пути повышения плодородия почв / Г.Г. Каменский – Свердловск: Свердловское Книжное Издательство, 1955. – 60 с.
- Каменский, Г.Г. Горнолесные почвы Урала / Г.Г. Каменский // Уч. зап. Уральского ун-та. – Свердловск, 1958. – Вып. 15. – С. 142–158.
- Каменский, Г.Г. Лесные почвы Свердловской области / Г.Г. Каменский // Повышение продуктивности и рациональное использование лесов. – Свердловск, 1967. – С. 20–23.
- Капица, С.П. Синергетика и прогнозы будущего / С.П. Капица, С.П. Курдюмов, Г.Г. Малинецкий. – М., Наука, 1997. – 286 с.
- Карпов, В.Г. Строение и динамика темнохвойных лесов / В.Г. Карпов. – Л.: Наука, 1965. – 154 с.
- Карпов, В.Г. Экспериментальная фитоценология темнохвойной тайги / В.Г. Карпов.– Л.: Наука, 1969. – 335 с.
- Классификация и диагностика почв СССР / Сост. В.В.Егоров, В.М. Фридланд, Е.Н. Иванова, Н.Н. Розов и др. – М.: Колос, 1977. – 223 с.
- Классификация растительности СССР (с использованием флористических критериев) / Под ред. Б.М. Миркина.– М.: Изд-во МГУ, 1986. – 200 с.
- Кнорринг, О.Э. Растительность западного склона Южного Урала в бассейне реки Ика / О.Э. Кнорринг // Труды СОПС АН СССР. – Сер.башк.– 1932.– Вып 2. – С. 169–263.
- Козловский, В.Б. Формирование ельников Северного Прикамья / В.Б. Козловский // Лесной журнал. – 1961.– № 4. – С. 30–33.
- Колесников, Б.П. Кедровые леса Дальнего Востока / Б.П. Колесников.– М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1956. – 261с.
- Колесников, Б.П. Состояние советской лесной типологии и проблемы генетической классификации типов леса / Б.П. Колесников // Известия СО. АН СССР. – 1958. – №2. – С. 109–122.
- Колесников, Б.П. О генетической классификации типов леса и задачах лесной типологии в восточных районах СССР / Б.П. Колесников // Известия СО АН СССР.– 1958а. – № 4. – С. 113–124.
- Колесников, Б.П. Пути построения генетической классификации типов леса / Б.П. Колесников // Труды по лесному хозяйству Сибири.– Новосибирск, 1958б, – Вып. 4. – С. 99–101.
- Колесников, Б.П. Основные итоги изучения естественного возобновления на

- концентрированных вырубках в лесах Свердловской области / Б.П. Колесников // Проблемы флоры и фауны Урала. – Свердловск: УФАН СССР, 1960. – Вып. 14. – С. 3–23.
- Колесников, Б.П. Генетическая классификация типов леса и ее задачи на Урале / Б.П. Колесников // Вопросы классификации растительности. – Свердловск. 1961а. – С. 47–59.
- Колесников, Б.П. Лесорастительные условия и лесохозяйственное районирование Челябинской области / Б.П. Колесников // Вопросы восстановления и повышения продуктивности лесов Челябинской области/ Труды ин-та биологии УФАН СССР. – Вып. 26. – Свердловск, 1961б. – С.3–44.
- Колесников, Б.П. Очерк растительности Челябинской области в связи с ее геоботаническим районированием / Б.П. Колесников // Труды Ильменского гос. заповедника. – Свердловск, 1961в. – Вып. 8. – С. 105–129.
- Колесников, Б.П. Растительность / Б.П. Колесников // Природа Челябинской области. – Челябинск: Южно–Уральское кн. изд-во, 1964. – С. 135–158.
- Колесников, Б.П. Леса Челябинской области / Б.П. Колесников // Леса СССР. – М.: Наука, 1969. – Т. 4. – С.125–156.
- Колесников, Б.П. Леса Свердловской области / Б.П. Колесников // Леса СССР. – М.: Наука, 1969. – Т.4. – С. 64–124.
- Колесников, Б.П. Генетический этап в лесной типологии и его задачи / Б.П. Колесников // Лесоведение. – 1974. – № 2. – С. 3–20.
- Колесников, Б.П. Лесная растительность северо–восточной части бассейна Вычегды / Б.П. Колесников. – Л.: Наука, 1985. – 215 с.
- Колесников, Б.П. Вопросы горного лесоводства на Урале / Б.П. Колесников, Р.С. Зубарева, Е.П. Смолоногов, Е.М. Фильрозе // Леса Урала и хозяйство в них. – Свердловск, 1970. – Вып. 5. – С. 90–94.
- Колесников, Б.П. Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области. Практическое руководство / Б.П. Колесников, Р.С. Зубарева, Е.П. Смолоногов. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1973. – 176 с.
- Колесников, Б.П. Зонально–географические и типологические закономерности естественного возобновления в лесах свердловской области / Б.П. Колесников, Н.А. Коновалов, Р.П. Исаева и др. // Возобновление леса. – М.: Колос, 1975. – С. 91–118.
- Комаров, А. С. Модели сукцессии растительности и динамики почв при климатических изменениях / А. С. Комаров // Компьютерные исследования и моделирование. – 2009. – Т. 1. – № 4. – С. 405–413.
- Комаров, А. С. Моделирование динамики органического вещества в лесных экосистемах / А. С. Комаров, О.Г. Чертов, Е.В. Абакумов, Г. Андриенко, Н. Андриенко и др. – М.: Наука, 2007.

– 380 с.

- Комаров, А.С. Динамика распределения экологических ниш в сообществах лесных растений при сукцессии / А.С. Комаров, Е.В. Зубкова // Математическая биология и биоинформатика. – 2012. – Т. 7. – Вып. 1. – С.152–161.
- Комаров, А. С. Воздействие осиновых плантаций с коротким оборотом рубки на биологический круговорот углерода и азота в лесах бореальной зоны: модельный эксперимент / А. С. Комаров, О.Г. Чертов, С.С. Быховец, И.В. Припутина, В.Н. Шанин, Е.О. Видягина, В.Г. Лебедев, К.А. Шестибратов // Математическая биология и биоинформатика. – 2015.– Т. 10. – № 2. – С. 398–415.
- Комарова, Т.А. Изменение синузальной структуры кустарничково–травяного яруса в ходе послепожарных сукцессий / Т. А. Комарова // Ботанический журнал.– 1993 – Т.78. – №6. – С.86–95.
- Комарова, Т.А. Региональные экологические шкалы и использование их при классификации лесов полуострова Муравьев–Амурский / Т. А. Комарова, Н.Б. Прохоренко //Ботаническийжурнал. – 2001. – Т. 86. – №7. – С. 101–114.
- Коновалов, Н.А. Ведущие типы хвойных лесов и их возобновление / Н.А. Коновалов // Сборник трудов Урал.лесотехн. ин–та. – Свердловск, 1968. – С. 79–84.
- Коновалов, Н.А. Основные пути повышения продуктивности лесов Урала / Н.А. Коновалов // Труды ин–та экологии растений и животных УНЦ АН СССР. –Свердловск, 1978. – Вып. 118. – С. 22–23.
- Коновалов, Н.А. Некоторые декоративные формы лиственницы Сукачева (*Larix Sukaczewii* Djil.) / Н.А. Коновалов, Е.А. Пугач // Труды ин–та экологии растений и животных УФАН СССР. – Свердловск, 1968. – Вып.60. – С. 86–91.
- Королюк, А.Ю. Экологическая оценка флоры и растительности Центральной Якутии / А.Ю. Королюк, Е.И. Троева, М.М. Черосов и др. – Якутск, 2005. – 108 с.
- Коротаев, А.В. Математические модели исторической демографии (Как хаос на микроуровне порождает предсказуемую динамику на макроуровне?) / А.В. Коротаев, Д.С. Чернавский, А.С. Малков, Н.М. Чернавская //Общественные науки и современность. – 2005.– №5.– С.140–154.
- Корчагин, А.А. Влияние пожаров на лесную растительность и восстановление ее после пожара на Европейском Севере / А.А. Корчагин // Труды Ботан. ин–та АН СССР. – Сер.3. Геоботаника.– 1954. – Вып. 9. – С. 75–148.
- Корчагин, А.А. Еловые леса Западного Притиманья в бассейне реки Мезенской Пижмы (их строение и возобновление) / А.А. Корчагин // Учен.зап. ЛГУ. – Сер.геогр.– 1956. – Вып. 11. – С. 111–239.

- Котов, М.И. Ботанико–географический очерк гор Зигальга и Машак на Южном Урале / М.И. Котов // Материалы по классификации растительности Урала: тезисы докл. на совещ.– Свердловск, 1959. – С. 59–61.
- Котов, С.Ф. Количественная оценка эдификаторной роли древесных видов / М.И. Котов // Ботанический журнал.– 1983. – Т.68. – №1. – С.39–48.
- Крашенинников, И.М. Растительность / И.М. Крашенинников // Природа Урала.– Свердловск, 1936. – С. 140–160.
- Крашенинников, И.М. Анализ реликтовой флоры Южного Урала в связи с историей растительности и палеогеографией плейстоцена / И.М. Крашенинников // Географические работы.– М.: Географгиз, 1951а. – С. 1312–169.
- Крашенинников, И.М. Основные пути развития растительности Южного Урала в связи с палеогеографией Северной Евразии в плейстоцене и голоцене / И.М. Крашенинников // Географические работы.– М.: Географгиз, 1951б. – С. 170–217.
- Крашенинников, И.М. Из истории развития ландшафтов Южного Урала / И.М. Крашенинников // Географические работы.– М.: Географгиз, 1951в. – С. 232–259.
- Крекунов, А.А. Научное обоснование системы охраны населенных пунктов от лесных пожаров на Среднем Урале: автореф. дис... канд. с.-х. наук/ Крекунов, Алексей Александрович.– Екатеринбург, 2016. – 19 с.
- Крышень, А.М. Растительные сообщества вырубок: структура, динамика и классификация (на примере Карелии) / А.М. Крышень. Автореф. дисс...докт. биол.наук. Петрозаводск, 2005. – 42 с.
- Крышень, А.М. Растительные сообщества вырубок Карелии / А.М. Крышень .М.: Наука, 2006. – 259 с.
- Крышень, А.М. Начальные стадии формирования растительных сообществ на вырубках / А.М. Крышень, Е.П. Гнатюк // Природные комплексы Вепсской волости: особенности, современное состояние, охрана и использование. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. С. 66–70.
- Крюденер, А.А. Основы классификации типов насаждений и их народнохозяйственное значение в обиходе страны / А.А. Крюденер. – Ч. I–II. – 1–е изд., – 1916–1917; – 2–е изд. – М.: МГУЛ, 2003. – 318 с.
- Кубасова, Т.С. Анализ влияния пожаров на круговорот углерода в лесных экосистемах методами имитационного моделирования / Т.С. Кубасова, А.М. Лукьянов, С.С. Быховец, А.С. Комаров // Математика. Компьютер. Образование: XII междунар. конф.: сб. тезисов. – М., 2005. – С. 195.
- Кувшинова, К.В. Климат / К.В. Кувшинова // Урал и Приуралье. – М.: Наука, 1968. – С 82–117.

- Кудрин, Б.И. Математика ценозов: видовое, ранговидовое, ранговое по параметру гиперболические  $H$ -распределения и законы Лотки, Ципфа, Парето, Мандельброта / Б.И. Кудрин // Математический аппарат структурного описания ценозов и гиперболические  $H$ -ограничения. Ценологические исследования. – М.: Центр системн. исслед., 2002. – Вып. 19. – С. 357–412.
- Кузьменко, Е.И. Лесные экосистемы средней и южной тайги Западно-сибирской равнины (структура и пространственно-временная динамика) / Е.И. Кузьменко, Е.П. Смолоногов. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. – 218 с.
- Куклин, А.А. Проблемы исследования наркотизации регионов России / А.А. Куклин, Г.П. Быстрой, А.В. Калина, Д.Я. Ойхер, А.А. Комаровская. – Екатеринбург: УрО РАН, 2005. – 53 с.
- Кулагин, Ю.З. О структуре адаптивного потенциала вида / Ю.З. Кулагин // Журнал общей биологии. 1984. Т. 45. № 5. С. 596–601.
- Курзин, Н.И. Таблицы хода роста смешанных лиственнично-еловых и елово-лиственничных насаждений водораздела Волги и Северной Двины / Н.И. Курзин. – Л., 1958. – 18 с.
- Курнаев, С.Ф. Основные типы боровых сосняков южной тайги Ярославской области / С.Ф. Курнаев // Сосновые боры подзоны южной тайги и пути ведения в них лесного хозяйства. – М.: Наука, 1969. – С. 11–64
- Лавренко, Е.М. Микрокомплексность и мозаичность растительного покрова степей как результат жизнедеятельности животных и растений / Е.М. Лавренко // Труды БИН АН СССР. – 1952. – Вып. 8. – С. 40–70.
- Лавренко, Е.М. Основные закономерности растительных сообществ и пути их изучения / Е.М. Лавренко // Полевая геоботаника. – 1959. – Т. 1. – С. 13–75.
- Ланкин, Ю.П. Основы теории моделирования разнообразия экосистем биосферы на основе фундаментальных свойств живых систем [Электронный режим] / Ю.П. Ланкин, Н.С. Иванова, Т.Ф. Басканова // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 1. – Режим доступа: [www.science-education.ru/101-5144](http://www.science-education.ru/101-5144).
- Лапшина, Е.И. Фитоэкологическое картографирование / Е.И. Лапшина, Б.Б. Намзалов, А.Ю. Королюк // Экологическое картографирование Сибири. – Новосибирск, 1996. – С. 136–149.
- Лебедев, Б.А. Почвы Свердловской области / Б.А. Лебедев. – Свердловск: Свердловоблгиз, 1949. – 148 с.
- Левицкий, И.И. Типы елово-пихтовых лесов Уфимского плато / И.И. Левицкий, А.В. Письмеров // Сборник трудов по лесному хозяйству. – 1962а. – С. 5–16.
- Левицкий, И.И. Лесоводственно-геоботаническая классификация вырубков Уфимского плато / И.И. Левицкий, А.В. Письмеров // Сборник трудов по лесному хозяйству. 1962б. – Вып. 6. –



С.17–26.

- Левицкий, И.И. Характеристика основных типов елово–пихтовых лесов Уфимского плато / И.И. Левицкий, А.В. Письмеров // Лесной журнал.– 1963.– №5. – С.33–36.
- Левич, А.П. Информация как структура систем / А.П. Левич// Семиотика и информатика. –1978. –Вып. 10.
- Левич, А.П. Структура экологических сообществ / А.П. Левич. –М.: Изд–во МГУ, 1980. –181 с.
- Левич, А.П. Биотическая концепция контроля природной среды / А.П. Левич // Доклады Академии наук. – 1994. – Т. 337. – №2. – С. 257–259.
- Лидер, В.А. Четвертичные отложения Урала / В.А. Лидер. –М.: Наука, 1976. – 143 с.
- Логофет, Д. О. Марковские цепи как модели сукцессии / Д. О. Логофет. //Лесоведение. – 2010. – № 2. – С. 46–52.
- Луганская, В.Д. Некоторые экологические особенности возобновления сосны под пологом насаждений / В.Д. Луганская, Н.А. Луганский // Леса Урала и хозяйство в них. – Свердловск, 1978. – Вып. 11. – С. 31–54.
- Луганский, Н.А. К вопросу о внутривидовой изменчивости кедра сибирского на Среднем Урале / Н.А. Луганский // Труды ин–та биологии УФАН СССР. – Свердловск, 1961. – Вып.23. – С. 89–96.
- Луганский, Н.А. Изменчивость некоторых морфологических признаков и биологических свойств кедра сибирского на Среднем Урале / Н.А. Луганский // Природа и лесная растительность северной части Свердловской области: труды Комиссии по охране природы УФ АН СССР. – Свердловск: Уральский фил. АН СССР, 1964. – Вып. 1. – С. 131-139.
- Луганский, Н.А. Научное обоснование способов возобновления и формирования молодняков на вырубках сосновых лесов Урала: автореф. дис...докт. с.–х. наук: 06.03.03 / Луганский Николай Алексеевич. – Алма–Ата, 1974. – 56 с.
- Луганский, Н.А. Влияние рубок ухода в сосновых молодняках подзоны южной тайги Урала на изменение среды и рост древостоев / Н.А. Луганский, Г.П. Макаренко // Леса Урала и хозяйство в них. – 1977. – Вып. 10. – С. 46–77.
- Луганский, Н.А. Рубки ухода в Свердловской области / Н.А. Луганский, С.В. Залесов // Леса Урала и хозяйство в них. – Свердловск, 1990. – Вып. 15. – С. 5–18.
- Луганский, Н.А. Березняки Среднего Урала / Н.А. Луганский, Л.А. Лысов. – Свердловск: Изд–во Урал.ун–та, 1991. – 100 с.
- Луганский, Н.А. Структура и динамика сосновых древостоев на Среднем Урале / Н.А. Луганский, З.Я. Нагимов. – Екатеринбург: Изд–во Урал.ун–та, 1994. – 140 с.
- Лысов, Л.А. Эффективность рубок ухода в березняках Среднего Урала / Л.А. Лысов // Леса Урала и хозяйство в них. – Свердловск, 1990. – Вып. 15. – С. 19–22.

- Любимов, А.В. Сценарии возможного развития лесов Новгородской области до 2080 года / А.В. Любимов, А.В. Грязькин, А.Н. Крючков, Н.Н. Кхумало, Х.Т. Чан, С.В. Саксонов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2017. – Т. 19. – № 2. – С. 45–53.
- Любимов, А.В. Сценарии возможного развития лесов Новгородской области до 2080 года / А.В. Любимов, А.В. Грязькин, А.Н. Крючков, Н.Н. Кхумало, Х.Т. Чан, С.В. Саксонов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2017. – Т. 19. – № 2. – С. 45–53
- Магасумова, А.Г.. Влияние размера вырубаемых площадок при рубках обновления на распределение надземной фитомассы живого почвенного покрова по ценотипам / А.Г. Магасумова, Г.В. Сидоренко, В.И. Крюк // Леса России и хозяйство в них. – 2016. – № 2 (57). – С. 42–47.
- Макунина, А.А. Ландшафты Урала / А.А. Макунина. – М.: Изд-во МГУ, 1974. – 160 с.
- Маландин, Г.А. Почвы Урала. Принципы агротехники и мелиорации. / Г.А. Маландин. – Свердловск: Свердблгиз, 1936. – 328 с.
- Мамаев, С.А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений (на примере семейства Pinaceae на Урале) / С.А. Мамаев. – М.: Наука, 1973. – 284 с.
- Мандельброт, Б. Фрактальная геометрия природы: пер. с англ. / Б. Мандельброт. – М.: Институт компьютерных исследований, 2002. – 656 с.
- Манько, Ю.И. О факторах усыхания пихтово–еловых лесов на Дальнем Востоке / Ю.И. Манько, Г.А. Гладкова // Лесоведение, 1995. – №2. – С.3–12.
- Мартыненко, В.Б. Леса Башкирского государственного природного заповедника: синтаксономия и природоохранная значимость / В.Б. Мартыненко, А.И. Соломещ, Т.В. Жирнова. – Уфа: Гилем, 2003. – 203 с.
- Мартыненко, В.Б. Место метода Браун–Бланке в изучении биологического разнообразия растений / В.Б. Мартыненко, Б.М. Миркин, О.Ю. Жигунов // Сибирский экологический журнал. – 2007. – № 1. – С.111–118.
- Маслаков, Е.Л. К вопросу о выделении типов сплошных концентрированных вырубков (сосняки средней тайги Зауралья) / Е.Л. Маслаков // Пробл. типологии и классификации лесов // Труды Института экологии растений и животных. – Свердловск, 1972. – Вып. 84. – С. 177–192.
- Маслаков, Е.Л. Формирование сосновых молодняков / Е.Л. Маслаков. – М.: Лесная пром-сть, 1980. – 165 с.
- Маслаков, Е.Л. Классификация вырубков и естественное возобновление сосновых лесов среднетаежной подзоны равнинного Зауралья / Е.Л. Маслаков, Б.П. Колесников // Леса Урала и хозяйство в них. – 1968. – Вып.1. – С. 246–279.
- Маслов, А.А. Процессы и механизмы природной динамики в заповедных хвойных и хвойно–

- широколиственных лесах центра Руссой равнины / А.А. Маслов // Экология таежных лесов: тезисы докладов междунар. конф.–Сыктывкар: Биопринт, 1998. – С. 39–40.
- Махнев, А.К. Внутривидовая изменчивость и популяционная структура берез секции *Albae* и *Nanae* / А.К. Махнев. – М.: Наука, 1987. – 128 с.
- Мелехов, И.С. О возобновлении ели на гарях / И.С. Мелехов // Лесное хозяйство и лесозэксплуатация.– 1933. – №10. – С.30–32.
- Мелехов, И.С. Основы типологии вырубок / И.С. Мелехов // Основы типологии вырубок и ее значение в лесном хозяйстве.– Архангельск, 1959. – С. 5–34.
- Мелехов, И.С. Природа таежных лесов и вырубок / И.С. Мелехов // Вопросы лесоведения и лесоводства: доклады на V Всемирном лесном конгрессе.– М., 1960а. – С. 257–264.
- Мелехов, И.С. Рубки и возобновление леса на Севере / И.С. Мелехов. – Архангельск: Кн. изд-во, 1960б. – 198 с.
- Мелехов, И.С. Лесная типология / И.С. Мелехов. – М.: Лесная промышленность, 1976. – 73 с.
- Мелехов, И.С. Изменение напочвенного покрова в связи с концентрированными рубками / И.С. Мелехов, П.В. Голдобина // Сб. науч.–исслед. работ Архангел. лесотехн. ин-та.– Архангельск, 1947.– С.58–59.
- Мельникова, И.В. Ход роста надземной фитомассы сосняков ягодниковых Среднего Урала / И.В. Мельникова, З.Я. Нагимов, В.В. Деменев // Проблемы восстановления лесов на Урале. – Екатеринбург, 1992. – С. 18–20.
- Мельчанов, В.А. Накопление и таяние снега в лесу и на вырубках Среднего Урала / В.А. Мельчанов // Лесоведение. – 1973. – №5. – С. 15–20.
- Метеорологический ежемесячник, 1975–1994. – Т.1–12. – Вып. 2.
- Милованович, Д.А. Типы лесов Среднего Урала (Нижнетагильского округа) / Д.А. Милованович. – Пермь, 1928. – 24 с.
- Мирин, Д.М. Изменение экологической структуры травяно–кустарничкового яруса в ходе автогенных сукцессий в ельниках кисличной группы / Д.М. Мирин // Экология таежных лесов: тезисы докладов Международной конференции.– Сыктывкар: Биопринт, 1998. – С. 41–42.
- Миркин, Б.М. Метод классификации растительности по Браун–Бланке и современная отечественная фитоценология / Б.М. Миркин // Бюллетень МОИП. – Отд. биол.– 1978. – Т. 83. – Вып. 3. – С. 77–88.
- Миркин, Б.М. Антропогенная динамика растительности / Б.М. Миркин // Итоги науки и техники. Ботаника. – Т.5.– М., 1984. – С.139–231
- Миркин, Б.М. Теоретические основы современной фитоценологии / Б.М. Миркин. – М.: Наука, 1985. – 137 с.

- Миркин, Б.М. Фитоценология. Принципы и методы / Б.М. Миркин, Г.С. Розенберг. – М.: Наука, 1978. – 212 с.
- Миркин, Б.М. Словарь понятий и терминов современной фитоценологии / Б.М. Миркин, Г.С. Розенберг, Л.Г. Наумова. – М.: Наука, 1989. – 223 с.
- Миркин, Б.М. Наука о растительности: (история и современное состояние основных концепций) / Б.П. Миркин, Л.Г. Наумова. – Уфа: Гилем, 1998. – 413 с.
- Миркин, Б.М. Современная наука о растительности: учебник / Б.П. Миркин, Л.Г. Наумова, А.И. Соломещ. – М.: Логос, 2000. – 264 с.
- Миркин, Б.М. Анализ факторов, определяющих видовое богатство сообществ лесов Южного Урала / Б.М. Миркин, В.Б. Мартыненко, П.С. Широких, Л.Г. Наумова. //Журнал общей биологии. – 2010. – Т. 71. – №2. – С. 131–143.
- Миркин, Б.М. Современное состояние основных концепций науки о растительности / Б.П. Миркин, Л.Г. Наумова. – Уфа: Гилем, 2012. – 488 с.
- Миронов, Б.А. Изучение гидрологической роли лесов при комплексных биогеоценологических исследованиях на Южном Урале / Б.А. Миронов // Эколого–географические принципы изучения лесов: сб. статей. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1983. – С. 135–139.
- Моисеев, П. А. Изменения климата и динамика древостоев на верхнем пределе их произрастания в горах Северного Урала / П.А. Моисеев, А.А. Бартыш, З.Я. Нагимов // Экология. – 2010. – № 6. – С. 432–443.
- Моисеев, П.А. Изменение структуры и фитомассы древостоев на верхнем пределе их произрастания на Южном Урале / П.А. Моисеев, М.О. Бубнов, Н.М. Дэви, З.Я. Нагимов // Экология. – 2016. – № 3. – С. 163–172.
- Морозов, Г.Ф. О типах насаждений и их значение в лесоустройстве / Г.Ф. Морозов // Лесной журнал. – 1904. – Вып. 1. – С. 14–94.
- Морозов, Г.Ф. Учение о типах насаждений / Г.Ф. Морозов. – М.; Л.: Сельколхозгиз, 1931. – 421 с.
- Мукатанов, А.Х. Горно–лесные почвы Башкирской АССР / А.Х. Мукатанов. – М.: Наука, 1982. – 148 с.
- Мурзаева, М.К. Влияние лесозаготовок на изменение водно–физических свойств почв на вырубках / М.К. Мурзаева // Леса Урала и хозяйство в них.– 1968. – Вып. 2. – С.57–59.
- Мурзаева, М.К. Влияние различных способов рубок и технологий лесосечных работ на повреждение поверхности почвы и ее водно–физические свойства / М.К. Мурзаева // Леса Урала и хозяйство в них. – 1969. – Вып. 3. – С. 15–21.
- Мурзаева, М.К. Влияние способов лесозаготовок на водно–физические свойства почвы и эрозионные процессы на вырубках / М.К. Мурзаева // Леса Урала и хозяйство в них.– 1970. –

- Вып. 4. – С.45–53.
- Мурзаева, М.К. Изменение водопроницаемости лесных почв после рубок главного пользования в преобладающих типах леса / М.К. Мурзаева // Леса Урала и хозяйство в них. – 1975. – Вып. 8. – С. 93–99.
- Нагимов, З.Я. Закономерности роста и формирования надземной фитомассы сосновых древостоев: автореф. дис...докт. с.-х. наук: 06.03.03 / Нагимов Зуфар Ягфарович. – Екатеринбург, 2000. – 40 с.
- Назимова, Д.И. Черневые темнохвойные леса на юге Красноярского края и проблемы их обзорного картографирования / Д.И. Назимова, Е.И. Пономарев, Н.В. Степанов, Е.В. Федотова // Лесоведение. – 2005. – № 1. – С. 70–73.
- Невидомов, А.М. Генетическая классификация тополевых и ветловых лесов Волго–Ахтубинской поймы / А.М. Невидомов // Лесоведение. – 1993. – № 5. – С. 40–47
- Нешатаев, В.Ю. Антропогенная динамика таёжной растительности европейской России / В.Ю. Нешатаев Автореферат дис. ... доктора биологических наук / Ботан. ин-т им. В.Л. Комарова РАН. Санкт-Петербург, 2017
- Николис, Г. Самоорганизация в неравновесных системах / Г. Николис, И. Пригожин. – М.: Мир, 1973. – 511 с.
- Новгородова, Г.Г. Особенности почвообразования в лесах Урала / Г.Г. Новгородова // Лесообразовательный процесс на Урале и в Зауралье. – 1996. – С. 50–68.
- Новгородова, Г.Г. Гумусное состояние торфяно–болотных почв в сосняках Среднего Урала / Г.Г. Новгородова // Исследование лесов Урала: матер. науч. чтений, посвящ. памяти Б.П. Колесникова. – Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1997а. – С. 58–60.
- Новгородова, Г.Г. Трансформация почв в связи с антропогенной динамикой ельников западных низкогорий Южного Урала / Г.Г. Новгородова // Леса Башкортостана. Современное состояние и перспективы. – Уфа, 1997б. – С. 125–126.
- Новгородова, Г.Г. Динамика гумусного состояния почв, восстанавливающихся после сплошнолесосечных рубок насаждений ельника липнякового / Г.Г. Новгородова // Леса Урала и хозяйство в них. – 1998. – Вып. 20. – С. 142–152.
- Новгородова, Г.Г. Антропогенная динамика гумусного состояния почв одного типа лесорастительных условий / Г.Г. Новгородова // Научные и прикладные проблемы популяционной биологии: сб. тезисов. – Н. Тагил, 2002. – С. 60.
- Новгородова, Г.Г. Динамика почв под влиянием восстанавливающихся после сплошнолесосечных рубок еловых древостоев Среднего и Южного Урала / Г.Г. Новгородова, Г.В. Андреев, Е.Г. Поздеев, Е.М. Фильрозе // Проблемы динамической типологии лесов: тезисы докладов Всероссийского Рабочего Сопевщания. – Архангельск, 1995.

– С.64–66.

- Новгородова, Г.Г. Трансформация почв в связи с антропогенной динамикой ельников западных низкогорий Южного Урала / Г.Г. Новгородова, Г.В. Андреев // Леса Башкортостана: современное состояние и перспективы: матер. науч.–практич. конф. – Уфа, 1997. – С.125–126.
- Новоселова, Н.Н. Формирование древесной растительности на бывших сельскохозяйственных угодьях: монография / Н.Н. Новоселова, С.В. Залесов, А.Г. Магасумова. – Екатеринбург: Уральский государственный лесотехнический университет, 2016. – 106 с.
- Норин, Б.Н. Некоторые вопросы теории фитоценологии. Ценотическая система, ценотические отношения, фитогенное поле / Б.Н. Норин // Ботанический журнал.– 1987а. – Т.72. – №9. – С.1161–1174.
- Норин, Б.Н. Эдификатор, интегральная (комплексная) фитоценотическая система, агрегация, фитохора, растительность, растительный покров – дискуссионные вопросы теории фитоценологии / Б.Н. Норин // Ботанический журнал. – 1987б. – Т.72. – №11. – С.1427–1434.
- Норин, Б.Н. Структурно–функциональная организация фитоценозов / Б.Н. Норин // Ботанический журнал. – 1991. – Т.76. – №4. – С.525–536.
- Обыденников, В.И. Влияние разных технологий рубок с применением новых машин на формирование типов вырубок и возобновление леса / В.И. Обыденников // Лесное хозяйство.– 1980. – №7. – С.23–25.
- Обыденников, В.И. Образование типов вырубок и начальных этапов формирования леса в связи с применением агрегатной техники / В.И. Обыденников // Динамическая типология леса.– М.:Агропромиздат, 1989. – С.116–129.
- Обыденников, В.И. Смена растительного покрова в ельниках после сплошных рубок агрегатной техникой / В.И. Обыденников, А.В. Тибуков // Лесоведение. – 1996. – №2. – С.3–11.
- Обыденников, В.И. Лесоводственно–географические аспекты типологии вырубок / В.И. Обыденников, Н.И. Кожухов // Лесной журнал. – 2000. – №4. – С. 135–142.
- Обыденников, В.И. Современное значение типологии вырубок для лесной науки и практики / В.И. Обыденников, А.В. Тибуков // Вестник Московского государственного университета леса. – 2012. – Вып. 2. – С. 4–7.
- Одум, Ю. Основы экологии / Ю. Одум. – М.: Мир, 1973. – 740 с.
- Окишев, Б.Ф. Возобновление ели и пихты / Б.Ф. Окишев // Возобновительные процессы в горных широколиственно–хвойных лесах.–Уфа, 1981. – С.4–14.
- Омелько, А.М. Особенности гар–динамики в хвойно–широколиственном лесу Южного Сихотэ–Алиня / А.М. Омелько, О.Н. Ухваткина // Растительный мир Азиатской России. – 2012. – № 1(9). – С. 106–113.

- Орлов, А.Я. Типы лесных биогеоценозов южной тайги / А.Я. Орлов, С.П. Кошельков, В.В. Осипов, А.А. Соколов. – М.: Наука, 1974. – 232 с.
- Основы государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в Российской Федерации на период до 2030 г. от 26.10. 2013 г. № 1724–р. // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2013. – № 40. – Ст. 5096.
- Очков, В.Ф. Mathcad 8 Pro для студентов и инженеров / В.Ф. Очков. – М.: КомпьютерПресс, 1999. – 523 с.
- Павлов, Д.С. Биоразнообразие, экосистемные функции и жизнеобеспечение человечества / Д.С. Павлов, Е.Н. Букварева // Вестник РАН. – 2007. – Т.77. – № 11. – С. 974–986.
- Панова, Н.К. Формирование растительного покрова среднегорного высотного пояса Южного Урала с изменениями климата в голоцене / Н.К. Панова // Взаимосвязи среды и лесной растительности на Урале.– Свердловск, 1981. – С. 40–57.
- Панова, Н.К. История горных лесов центральной части Южного Урала в голоцене / Н.К. Панова // Лесоведение. – 1982. – №1. – С. 24–34.
- Панова, Н.К. Палинологическое исследование Карасьеозерского торфяника на Среднем Урале / Н.К. Панова // Исследование лесов Урала: мат–лы науч. чтений, посвящ. памяти Б.П. Колесникова. – Екатеринбург: Изд–во УрО РАН, 1997. – С. 28–31.
- Панова, Н.К. История озер и растительности в центральной части Среднего Урала в позднее– и послеледниковое время / Н.К. Панова // Охранные археологические исследования на Среднем Урале. – Екатеринбург, 2001. – Вып. 4. – С. 48–59.
- Панова, Н.К. Динамика природной среды в голоцене по данным палинологического анализа отложений стоянки береговая–2 на горбуновском торфянике / Н.К. Панова // Экология древних и традиционных сообществ. – Тюмень: Изд–во ИПОС СО РАН, 2011. – Вып. 4. – С. 62–64.
- Перевозникова, В.Д. Динамика формирования травянистой растительности на вырубках южнотаежных лесов Сибири / В.Д. Перевозникова // Известия АН. Серия биологическая. – 1998. – №2. – С.283–291.
- Перельман, А.И. Геохимия / А.И. Перельман. – М.: Высшая школа, 1979. – 422 с.
- Письмеров А.В. Лесорастительные условия и эколого–геоботанические особенности темнохвойно–широколиственных лесов южной части Уфимского плато: автореф... канд. биол. наук / Письмеров Александр Васильевич.– Свердловск, 1967. –27 с.
- Плотинский, Ю.М. Модели социальных процессов: учебное пособие для вузов / Ю.М. Плотинский. – М.: Логос, 2001.– 296 с.
- Побединский, А.В. Изучение лесовосстановительных процессов / А.В. Побединский. – М.: Наука, 1966. – 64 с.

- Побединский, А.В. Возобновление на вырубках подзоны южной тайги / А.В. Побединский // Возобновление и формирование лесов на вырубках.– М.,1975. – С. 3–34.
- Побединский, А.В. Водоохранная и почвозащитная роль лесов / А.В. Побединский. – М., 1977. – 23 с.
- Погребняк, П.С. Основы лесной типологии / П.С. Погребняк. – К.: Изд-во АН Украинской ССР, 1955. – 452 с.
- Поликарпов, Н.П. Формирование сосновых молодняков на концентрированных вырубках / Н.П. Поликарпов. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – 171 с.
- Почвенная карта Свердловской области, М1 : 500 000. – М.: ГУГК, 1990.
- Прейс, Ю.И. Опыт выявления границ между элементами мозаики в луговой растительности / Ю.И. Прейс, Ю.И. Самойлов // Бюллетень МОИП. – Отд. биол.– 1977. – Т.82. – №4. – С.55–67.
- Придня, М.В. Биологические свойства подроста ели сибирской на Тавда–Кондинском междуречье: автореф... канд. биол. наук / Придня Михаил Васильевич.– Свердловск,1969. – 26 с.
- Программа и методика биогеоценотических исследований / Отв. ред. Н.В. Дылис. – М.: Наука, 1974. – 402 с.
- Проект организации и развития лесного хозяйства Катавского КЛПХ. Т.1. – Поволжское лесостроительное предприятие, 1987. – 482 с.
- Пугачева, Е.Г. Самоорганизация социально–экономических систем: учебное пособие / Е.Г. Пугачева, К.Н. Соловьев. – Иркутск: БГУЭП, 2003.– 172 с.
- Пугачевский А.В. Ценопопуляции ели. Структура, динамика и факторы регуляции / А.В. Пугачевский. – Минск, 1992. – 204 с.
- Пузаченко, Ю.Г. Ранговые распределения в экологии и неэкстенсивная статистическая механика / Ю.Г. Пузаченко //Сборник трудов Зоологического музея МГУ им. М.В. Ломоносова. – М., 2016. – Т. 54. – С. 42–71.
- Раменский, Л.Г. Проблемы и методы изучения растительного покрова:избр. работы / Л.Г. Раменский. – Л.: Наука, 1971. – 334 с.
- Раменский, Л.Г. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову/ Л.Г. Раменский, И.А. Цаценкин, О.Н. Чижиков, Н.А. Антипин. – М.: Сельхозгиз, 1956. – 472 с.
- Раушенбах, В.М. Среднее Зауралье в эпоху неолита и бронзы / В.М. Раушенбах. – М.: Культпросветиздат, 1956. – 152 с.
- Ризниченко, Г.Ю.Математические модели биологических продукционных процессов / Г.Ю. Ризниченко, А.Б. Рубин. – М.: Изд. МГУ, 1993.– 301 с.
- Родин, Л.П. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в



- фитоценозах / Л.П. Родин, Н.П. Ремезов, Н.И. Базилевич. –Л.: Наука, 1968. – 143 с.
- Розанов, Б.Г. Морфология почв / Б.Г. Розанов. – М.: Академ. проект, 2004. – 432 с.
- Розенберг, В.А. Построение и содержание кадастра типов леса Советского Дальнего Востока / В.А. Розенберг // Региональные кадастры типов леса. – М.: Наука, 1990.– С. 99–123.
- Романовский,Ю.М. Математическое моделирование в биофизике: введение в теоретическую биофизику/ Ю.М. Романовский, Н.В. Степанова, Д.С. Чернавский.– 2–е изд., доп. – М.: Ижевск: Ин–т компьютер.исслед., 2004. – 471 с.
- Румянцева, А.Я. Климат Челябинской области / А.Я. Румянцева // Природа Челябинской области. – Челябинск: Южно-Уральское кн. изд-во, 1964. – С. 60-89.
- Рысин, Л.П. Лесная типология в СССР / Л.П. Рысин. М.: Наука, 1982. –216 с.
- Рысин Л.П. Еловые леса России / Л.П. Рысин, Л.И. Савельева. М.: Наука, 2002. –336 с.
- Рысин, Л.П. Кадастры типов леса и типов лесных биогеоценозов. М.: Товарищество научных изданий КМК / Л.П. Рысин, Л.И. Савельева, 2007. – 144 с.
- Рысин, Л. П. Сосновые леса России / Л.П. Рысин, Л.И. Савельева. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. – 289 с.
- Самсонова, И.Д. Биоразнообразие живого напочвенного покрова в структуре лесных фитоценозов для медосбора Ленинградской области / И.Д. Самсонова, А.В. Грязькин, В.Т. До, А.Н. Прокофьев // Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире. – 2017. – № 17–1. – С. 139–142.
- Санников, С.Н. Естественное возобновление сосны на сплошных вырубках в Припышминских борах / С.Н. Санников // Вопросы развития лесного хозяйства на Урале: трудыИн–та биологии УФАН СССР. – Вып. 16. – Свердловск, 1960. – С.81–106.
- Санников, С.Н. Естественное возобновление сосны и меры содействия ему в Припышминских борах / С.Н. Санников. – Свердловск: УФАН СССР, 1961. – 76 с.
- Санников, С.Н. Экологические особенности главнейших типов микросреды естественного возобновления сосны на сплошных вырубках / С.Н. Санников // Труды Ин–та биол. Урал.фил. АН СССР. – Свердловск, 1965. – Вып.43. – С.231–242.
- Санников, С.Н. Типы вырубок, динамика живого напочвенного покрова и его роль в последующем возобновлении сосны в Припышминских борах–зеленомошниках / С.Н. Санников // Леса Урала и хозяйство в них. –1968. – Вып. 1. – С. 280–301.
- Санников, С.Н. Об экологических рядах возобновления и развития насаждений в пределах типа леса / С.Н. Санников // Лесообразовательные процессы на Урале: труды Ин–та эколог.растений и животн. – Вып. 67. – Свердловск, 1970. – С. 175–181.
- Санников, С.Н. Экология и география естественного возобновления сосны обыкновенной / С.Н. Санников. – М.: Наука, 1992. – 264 с.

- Санников, С.Н. Естественное возобновление сосны на сплошных вырубках и гарях и пути его улучшения / С.Н. Санников // Природа и лесн. хоз-во Припышминских боров. – Екатеринбург: УрО РАН, 1997. – С. 23–26.
- Санников, С.Н. Дифференциация популяций сосны обыкновенной / С.Н. Санников, И.В. Петрова. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – 450 с.
- Санников, С.Н. Естественное возобновление лесов // Лесоводственная наука на Урале: монография / С.Н. Санников. – Екатеринбург: Урал.гос. лесотехн. ун-т, 2006. – С. 140–146.
- Санников, С.Н. Дивергенция, конвергенция и наследование структуры лесных биогеоценозов / С.Н. Санников // Генетическая типология, динамика и география лесов России. – Екатеринбург: УрО РАН, 2009. – С. 56–61.
- Санников, С.Н. Экологические катастрофы и микроэволюция популяций / С.Н. Санников // Эко-потенциал. – 2014. – № 2 (6). – С. 42–54.
- Санников, С.Н. Популяционно-экологический и микроэкосистемный подходы к изучению естественного возобновления древесных растений / С.Н. Санников, Н.С. Санников // Экологические исследования в лесных и луговых биогеоценозах равнинного Зауралья. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1979. – С.3–14.
- Санников, С.Н. Экология естественного возобновления сосны под пологом леса / С.Н. Санников, Н.С. Санникова. – М.: Наука, 1985. – 149 с.
- Санников, С.Н. Феногеография популяций древесных растений: проблемы, методы и некоторые итоги / С.Н. Санников, И.В. Петрова // Хвойные бореал. зоны. – 2008. – Т. 24. – № 2/3. – С. 288–296.
- Санников, С.Н. Градиенты среды смежных суходольных и болотных популяций *PinusSylvestrisL* / С.Н. Санников, О.Е. Черепанова, Т.Т. Ефремова, И.В. Петрова // Генетика, экология и география дендропопуляций и ценоэкосистем: сб. науч. тр. –Екатеринбург: УрО РАН, 2010. – С. 74–83.
- Семериков, Л.Ф. Популяционная структура дуба черешчатого на юго-восточной границе ареала / Л.Ф. Семериков // Бюллетень МОИП отделение биологии. – М.: Изд-во МГУ, 1981. – №6. – С. 73– 82.
- Сибгатуллин, Р.З. Послепожарные сукцессии в пихто-ельнике крупнопоротниковом / Р.З. Сибгатуллин // Стационарные биогеоценологические исследования на Урале: сб. науч. тр. – Екатеринбург: УрО РАН, 2009. – С. 133–138.
- Синельщикова, З.И. Елово-березовые древостои Тавда-Кондинского междуречья / З.И. Синельщикова // Леса Урала и хозяйство в них. – Свердловск, 1968. – С. 40–43.
- Синельщиков Р.Г. Рост, строение и возрастная структура еловых насаждений Кировской области: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Воронеж, 1959. – 22 с.

- Смолоногов, Е.П. Особенности возрастной динамики древостоев широколиственно–елово–пихтовых лесов западного склона Среднего Урала / Е.П. Смолоногов // Вопросы лесного хозяйства Сибири и Дальнего Востока.– Красноярск, 1959. – С.36–45.
- Смолоногов, Е.П. К вопросу динамики возрастной структуры и строения древостоев широколиственно–елово–пихтовых лесов Урала / Е.П. Смолоногов // Проблемы флоры и фауны Урала.– Свердловск, 1960б. – С.39–54.
- Смолоногов, Е.П. Возрастная динамика и хозяйственно–выборочные рубки в широколиственно–темнохвойных лесах водоохранозащитной полосы р. Уфы в пределах Свердловской области / Е.П. Смолоногов // Динамика и строение лесов на Урале. – Свердловск, 1970. – С.117–135.
- Смолоногов, Е.П. Естественное возобновление на концентрированных вырубках в сосновых лесах восточного склона Среднего Урала и Зауралья / Е.П. Смолоногов // Вопросы развития лесного хозяйства на Урале. – Свердловск, 1960. – С. 53–69.
- Смолоногов, Е.П. Комплексное районирование лесных территорий в целях организации наиболее рациональных систем ведения лесного хозяйства / Е.П. Смолоногов // Леса Урала и хоз–во в них. – Свердловск, 1968. – Вып. 2. – С. 153–155.
- Смолоногов, Е.П. Эколого–географическая дифференциация и динамика кедровых лесов Урала и Западно–Сибирской равнины (эколого–лесоводственные основы оптимизации хозяйства) / Е.П. Смолоногов. – Свердловск: УрО АН СССР, 1990. – 288 с.
- Смолоногов, Е.П. Лесообразовательный процесс и его особенности / Е.П. Смолоногов // Экология. – 1994. – №1. – С.3–9.
- Смолоногов, Е.П. Лесообразовательный процесс и генетическая классификация типов леса /Е.П. Смолоногов // Леса Урала и хозяйство в них.– Екатеринбург:Урал.гос. лесотехн. акад., 1995. – С.43–58.
- Смолоногов, Е.П. Лесообразовательный процесс и проблема лесной типологии / Е.П. Смолоногов // Лесообразовательный процесс на Урале и в Зауралье: сб. науч. тр. – Екатеринбург: УрО РАН, 1996. – С. 4–25.
- Смолоногов, Е.П. Основные положения генетического подхода при построении лесотипологических классификаций / Е.П. Смолоногов // Экология. – 1998. – №4. – С. 256–261.
- Смолоногов, Е.П. Комплексное районирование Урала / Е.П. Смолоногов // Леса Урала и хозяйство в них. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2001. – Вып. 21. – С. 7–18 с.
- Смолоногов, Е.П. Лесная типология на Урале / Е.П. Смолоногов // Лесоводственная наука на Урале: монография. – Екатеринбург: Уральский гос. лесотехнический ун–т, 2006. – С. 125–140.

- Смолоногов, Е.П. Восстановительно–возрастная динамика лесов Билимбаевского опытно–показательного лесхоза / Е.П. Смолоногов, А.М. Шихов // Восстановительная и возрастная динамика таежных лесов Среднего Урала: сб. науч. тр. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1987. – С. 4–46.
- Смолоногов, Е.П. Ландшафтно–экологические и динамические основы генетической классификации типов леса на Урале / Е.П. Смолоногов, Е.М. Фильрозе, Ю.М. Алесенков, Е.Г. Поздеев // Исследование лесов Урала: матер.науч. чтений памяти Б.П. Колесникова. – Екатеринбург: УрО РАН, 1997. – С. 6–9.
- Смолоногов, Е.П. Взаимосвязанная система районирования лесных территорий / Е.П. Смолоногов, Н.Н. Чернов // Лесоведение. – 2005. – № 2. – С. 67–71.
- Соколова, Л.А. Основные черты растительности западного склона (северной части) Южного Урала / Л.А. Соколова // Труды Ботанического ин–та им.В.Л. Комарова. –Серия III (Геоботаника). – Вып.7. – С. 134– 180. – Л., 1951.
- Соловьев, В.М. Проблемы динамической классификации древостоев в типах леса / В.М. Соловьев // Генетическая типология, динамика и география лесов России. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. – С.65–68.
- Сочава, В.Б. О генезисе и фитоценологии аянского темнохвойного леса / В.Б. Сочава // Ботан. журнал.– 1944. – Т. 29.– № 5. – С. 205–218.
- Стеценко, С.К. О регламенте совместного применения стимуляторов роста и пестицидов в лесовыращивании / С.К. Стеценко, Е.М. Андреева, Г.Г. Терехов, Т.В. Хуршкайнен, А.В. Кучин // Экология и промышленность России. – 2019. – № 1. – С. 66–71
- Сукачев, В.Н. О некоторых основных вопросах типологии леса / В.Н. Сукачев // Лесное хозяйство.– 1928.– №2. – С.36–41; – №3. – С. 42–50.
- Сукачев, В.Н. Очерк истории озер и растительности Среднего Урала в течение голоцена по данным изучения сапропелевых отложений / В.Н. Сукачев, Г.И. Поплавская // Бюллетень Комиссии по изучению четвертич. периода СССР. – 1946. – №8. – С. 5–38.
- Сукачев, В.Н. Методические указания к изучению типов леса / В.Н. Сукачев, С.В. Зонн. – М.: Изд–во АН СССР, 1961. – 143 с.
- Суховольский, В.Г. Моделирование экологических систем: проблемы и возможные решения / В.Г. Суховольский // Математическое моделирование в экологии: матер. 2-й Национальной конф. с междунар. участием ЭкоМатМод–2011. – Пушкино: ИФХиБПП РАН, 2011. – С. 259–261.
- Суховольский, В. Г. Высотно–поясная зональность древесных пород в горных условиях Саян: модель экологических фазовых переходов второго рода / В.Г.Суховольский, Т.М. Овчинникова, С.Д. Бабой //Журнал общей биологии. – 2014. – Т. 75. – № 1. – С. 38–47.

- Таргульян, В.О. Почвообразование и выветривание в холодных гумидных областях / В.О. Таргульян. – М.: Наука, 1971. – 265 с.
- Теринов, Н.И. Результаты производственных несплошных рубок в хвойных насаждениях Челябинской области / Н.И. Теринов // Леса Урала и хозяйство в них.– Свердловск, 1978. – Вып. 11. – С.83–90.
- Теринов, Н.И. Рубки ухода в лесах Урала: практические рекомендации / Н.И. Теринов, Г.М. Куликов. – Свердловск: УрО АН СССР, 1991. – 88 с.
- Теринов, Н.И. Каймовые рубки как метод сохранения и восстановления коренных хвойных древостоев / Н.И.Теринов, Терин А.А., Магасумова А.Г. // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2012. – № 6 (330). – С. 24–31.
- Теринов, Н.Н. Устойчивое развитие лесных экосистем / Н.Н. Теринов, Н.А. Луганский // Известия Уфимского научного центра Российской академии наук. – 2017. – № 4–1. – С. 119–121.
- Теринов, Н.И. Применение природосберегающих технологий на проходных рубках в Уральском учебном опытном лесхозе УГЛТУ / Н.Н. Теринов, Э.Ф. Герц, А.В. Мехренцев // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2018. – № 4 (364). – С. 87–96.
- Терехов, Г.Г. Современное состояние генетико-селекционного комплекса свердловской области перспективы его развития / Г.Г. Терехов, И.А. Фрейберг, С.В. Залесов, Н.А. Луганский, В.И. Крюк, В.М. Скатынцев // Леса России и хозяйство в них. – 2017. – № 4 (63). – С. 4-10.
- Терехов, Г.Г. Состояние искусственного лесовосстановления в свердловской области и пути его совершенствования / Г.Г. Терехов, И.А. Фрейберг, С.В. Залесов, Н.А. Луганский, В.И. Крюк // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 2 (70). – С. 95-98.
- Типология вырубков: Библиографический указатель литературы /Сост. Н. И. Кожухов, Н. М. Набатов, В. И. Обыденников, В. Г. Чертовский.– М.: МЛТИ,1974. – 52 с.
- Ткаченко, В.С. К познанию механизма становления потенциальных фитоцено–структур хомутовской степи / В.С. Ткаченко // Вопросы степеведения. –2000. – № 2. –С. 82–92.
- Трофимова, И.Л. Фитомасса живого напочвенного покрова и его характеристика на основе эколого–ценотических шкал в сосновых насаждениях уральского учебно–опытного лесхоза / И.Л. Трофимова, У.П. Кошечева, З.Я. Нагимов, Е.А. Зотеева // Аграрный вестник Урала. – 2015. – № 5 (135). – С. 55–60.
- Тукачева, А.В. Пожарная опасность в рекреационных сосняках и пути ее минимизации / А.В. Тукачева, Е.Н. Нестерова, А.Ф. Хабибуллин, Е.С. Залесова, А.В. Данчева // Вестник биотехнологии. – 2017. – № 2 (12). – С. 15.

- Турков, В.Г. Динамика биогеоценологического покрова. Многовековые смены: учебное пособие / В.Г. Турков. – Свердловск: Изд-во Урал. гос. ун-та, 1980. – 60 с.
- Тюлина, Л.Н. К эволюции растительного покрова восточных предгорий Южного Урала / Л.Н. Тюлина // Зап. Златоустовского о-ва краеведения. – 1929. – Вып.1. – 18 с.
- Тюлина, Л.Н. Материалы по высокогорной растительности / Л.Н. Тюлина // Изв. Гос. геогр. об-ва. – 1931. – Т. 63. – Вып. 5–6. – С. 455–492.
- Уиттекер, Р. Сообщества и экосистемы / Р. Уиттекер. – М.: Прогресс, 1980. – 326 с.
- Уланова, Н.Г. Математические методы в геоботанике / Н.Г. Уланова. – М.: МГУ, 1995. – 109 с.
- Уланова Н.Г. Восстановительная динамика растительности сплошных вырубок и массовых ветровалов в ельниках южной тайги (на примере европейской части России). Автореф. дис. ... докт. биол. наук. М., МГУ, 2006. 46 с.
- Уланова, Н.Г. Экологические последствия сплошной рубки в таежных лесах России / Н.Г. Уланова // Биологическое образование и общество знаний: матер. Всерос. конф., – Брянск – М.: МАКС Пресс, 2007. – С. 136–147.
- Усольцев, В.А. Моделирование структуры и динамики фитомассы древостоев / В.А. Усольцев. – Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 1985. – 192 с.
- Усольцев, В.А. Биоэкологические аспекты таксации фитомассы деревьев / В.А. Усольцев. – Екатеринбург: УрО РАН, 1997. – 216 с.
- Усольцев, В.А. Формирование банков данных о фитомассе лесов / В.А. Усольцев. – Екатеринбург, 1998. – 542 с.
- Усольцев, В.А. Фитомасса лесов Северной Евразии: предельная продуктивность и география / В.А. Усольцев. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – 406 с.
- Усольцев, В.А. Методы и результаты изучения географических трендов структуры фитомассы деревьев лиственниц и двухвойных сосен Евразии / В.А. Усольцев, В.П. Часовских, Ю.В. Норицина, Е.В. Кох // Экология. – 2016. – № 5. – С. 335–345.
- Усольцев, В.А. Трансконтинентальная аддитивная модель и таблица для оценки фитомассы елово-пихтовых древостоев Евразии / В.А. Усольцев, М.П. Воронов, К.В. Колчин, А.А. Маленко, Е.В. Кох // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2017. – № 9 (155). – С. 91–100.
- Усольцев, В.А. Аддитивные региональные модели фитомассы деревьев и древостоев Евразии. Сообщение 3: род *Populus* L. / В.А. Усольцев, И.С. Цепордей, В.П. Часовских, А.А. Осмирко // Эко-потенциал. – 2018. – № 2 (22). – С. 55–73.
- Федорчук, В.Н. Изменение средообразующих свойств леса после проведения полосных рубок / В.Н. Федорчук, М.Л. Кузнецова // Лесоведение. 1993. № 2. С. 3.
- Федорчук, В.Н. Изменение показателей лесных биогеоценозов на начальных этапах

- восстановительной сукцессии после сплошных рубок (по материалам постоянных наблюдений) / В.Н. Федорчук, М.Л.Кузнецова // Бюллетень МОИП. – Отд. биол.– 1995. – Т.100. –Вып.2. –С.85–99.
- Федорчук, В.Н. Лесные экосистемы северо-западных районов России: Типология, динамика, хозяйственные особенности / В.Н. Федорчук, В.Ю. Нешатаев, М.Л. Кузнецова. СПб.: СПбНИИЛХ, 2005. – 382 с
- Федорчук, В.Н., Динамика коренных еловых лесов европейской России / В.Н. Федорчук, А.А. Шорохов, Е.В. Шорохова, М.Л. Кузнецова // Лесоведение. 2014. № 2. С. 11-19.
- Феклистов, П.А. Роль типов леса в смене пород на старопашотных землях кенозерского национального парка / П.А. Феклистов, Т.В. Тюрикова, М.В. Аверина // Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. – 2016. –Т. 20. – № 6. – С. 39-43.
- Фильрозе, Е.М. Типы леса Ильменского государственного заповедника и их динамика / Е.М. Фильрозе // Труды по лесному хозяйству Сибири.– Новосибирск, 1958. – Вып. 4.– С. 157–163.
- Фильрозе, Е.М. Опыт составления генетической классификации типов леса Южного Урала / Е.М. Фильрозе // Классификация типов горных лесов Казахстана. – Целиноград, 1966. – С. 104–113.
- Фильрозе, Е.М. Схема генетической классификации типов леса тайги восточного макросклона Южного Урала и северной лесостепи восточно–уральского пенеблена / Е.М. Фильрозе // Типы и динамика лесов Урала и Зауралья.– Свердловск, 1967.– С. 119–155.
- Фильрозе, Е.М. Природные особенности и система хозяйства в горных лесах Южного Урала / Е.М. Фильрозе // Леса Урала и хозяйство в них. – 1968. – Вып. 2. –С.43–47.
- Фильрозе, Е.М. Научные основы рационального использования горных лесов Южного Урала / Е.М. Фильрозе // Горные леса Южного Урала.–Уфа, 1971. – С. 49–59.
- Фильрозе, Е.М. К принципам классификации и номенклатуры типов леса / Е.М. Фильрозе // Проблемы типологии и классификации лесов.– Свердловск: УФАН СССР, 1972. – С. 10–18.
- Фильрозе, Е.М. Антропогенная динамика лесных реурсов Челябинской области / Е.М. Фильрозе // Охрана и рациональное использование биологических ресурсов Урала.– Свердловск, 1978. – С. 63–64.
- Фильрозе, Е.М. Схема генетической классификации типов леса Южного Урала / Е.М. Фильрозе // Эколого–географические и генетические принципы изучения лесов. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1983. – С. 53–60.
- Фильрозе, Е.М. Типы леса Южного Урала / Е.М. Фильрозе // Проблемы использования типов леса в лесном хозяйстве и лесоустройстве.– Свердловск, 1986. – С. 35–42.

- Фильрозе, Е.М. 40 лет генетической классификации лесов на Южном Урале / Е.М. Фильрозе // Исследование лесов Урала: матер.науч. чтений посвященных памяти Б.П. Колесникова. – Екатеринбург: Институт леса УрО РАН, 1997. – С. 9–13.
- Фильрозе, Е.М. Основные итоги изучения лесов Ильменского заповедника / Е.М. Фильрозе, Б.П. Колесников // Биологические исследования в Ильменском заповеднике. – Свердловск, 1973. – С. 3–19.
- Фильрозе, Е.М. Методы изучения динамики разновозрастных древостоев (на примере сосняков предлесостепья восточно–уральского пенеблена / Е.М. Фильрозе, В.И. Богданов // Развитие лесообразовательного процесса на Урале.– Свердловск: УНЦ АН СССР, 1977. – С. 85–101.
- Фильрозе, Е.М. Экологический анализ структуры лесных массивов в западных низкогорьях Южного Урала / Е.М. Фильрозе, Г.М. Гладушко // Роль экологических факторов в лесообразовательном процессе на Урале.– Свердловск. УНЦ АН СССР, 1981. – С. 65–84.
- Фильрозе, Е.М. Экология лесов Западной Башкирии / Е.М. Фильрозе, А.Е. Рябчинский, Г.М. Гладушко, А.В. Конашов. –Свердловск: УрО РАН СССР, 1990. – 200 с.
- Фильрозе, Е.М. Оценка уровня дигрессии лесной растительности в горах Южного Урала / Е.М. Фильрозе, Г.В. Андреев, Н.С. Иванова // Лесная таксация и лесоустройство: межвуз сб. науч. работ. – Красноярск: СибГТУ, 1999. – С. 148–155.
- Фильрозе, Е.М. Оценка антропогенной трансформации лесов методами динамической типологии / Е.М. Фильрозе, Г.В. Андреев, Н.С. Иванова // Труды XI съезда русского географического общества. – Т. 8. – СПб., 2000. – С. 67–69.
- Фирсова, В.П. Об изменении физико–химических свойств некоторых почв урала под влиянием лесных пожаров / В.П. Фирсова // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 1960. – № 1. – С. 13–20.
- Фирсова, В.П. Почвы южной тайги и хвойно–широколиственных лесов Урала и Зауралья / В.П. Фирсова, Г.К. Ржанникова // Лесные почвы южной тайги Урала и Зауралья / ТрудыИн–та экологии растений и животных УНЦ АН СССР. – Свердловск, 1972. – Вып. 85 – С. 3–87.
- Фирсова, В.П. Особенности горно–лесных почв Южного Урала / В.П. Фирсова, М.И. Дергачева, Т.С. Павлова, Г.Г. Новгородова, С.В. Степанов // Особенности горного почвообразования под пологом лесов.– Свердловск, 1978. – С. 62–99.
- Фомин, В. В. Климатогенная и антропогенная пространственно–временная динамика древесной растительности во второй половине XX века / В. В. Фомин. –Екатеринбург: ИЭРиЖ УрО РАН. 2009. – 150 с.
- Фомин, В. В. Новые подходы к изучению динамики древесной растительности с использованием разновременных ландшафтных фотоснимков (на примере Полярного Урала) / В. В. Фомин, А. П. Михайлович, С. Г. Шиятов // Экология. –2015. –№5. –С. 323–



321.

- Халафян, А.А. Statistica 6. Статистический анализ данных: учебник / А.А. Халафян. – 2-е изд., переработ. и дополн. – М.: Бином–пресс, 2010. – 528 с.
- Хасанова, Г.Ф. Некоторые особенности самовосстановления горно–лесных ландшафтов Южного Урала после пожаров / Г.Ф. Хасанова // Вестник Башкирского университета. – 2014. – Т. 19. – № 1. – С. 90–92.
- Хотинский, Н.А. Голоцен Северной Евразии / Н.А. Хотинский. – М.: Наука, 1977. –198 с.
- Цветаев, А.А. Геоботаническая характеристика горного района Ирмель (Южный Урал) / А.А. Цветаев // Зап. Башк. геогр. об–ва. СССР.– 1960. – Вып.3. – С.87–100.
- Цветков, В.Ф. Направления лесовосстановительных процессов на вырубках в сосняках Кольского полуострова / В.Ф. Цветков // Тезисы докл. науч. сессии Арх. ин–та леса и лесохимии, 1971.– Архангельск, 1972. – С. 5–8.
- Цветков, В.Ф. О направлениях процессов формирования сосновых молодняков на Кольском полуострове / В.Ф. Цветков // Естественная среда и биологич. ресурсы Крайнего Севера.– Л.: РГО, 1975. – С. 55–64.
- Цветков, В.Ф. Типы формирования насаждений на сплошных вырубках сосновых лесов Мурманской области / В.Ф. Цветков // Лесоведение.– 1986. – № 3. – С. 10–18.
- Цветков, В.Ф. Формирование сосняков Кольского полуострова в связи со сплошными рубками / В.Ф. Цветков // Динамическая типология лесов.– М.: Агропромиздат, 1989. – С. 129–144.
- Цветков, В.Ф. Проблемы динамической типологии на европейском севере / В.Ф. Цветков // Проблемы динамической типологии лесов: тезисы докл. Всероссийского Рабочего Сопещения.– Архангельск, 1995а. – С. 4–6.
- Цветков, В.Ф. Типы формирования насаждений и динамическая типология лесов / В.Ф. Цветков // Проблемы динамической типологии лесов: тезисы докл. Всероссийского Рабочего Сопещения.– 1995б. – С. 53–56.
- Цветков, В.Ф. Типы формирования насаждений как представительные ряды динамики типа леса / В.Ф. Цветков // Генетическая типология, динамика и география лесов России. – Екатеринбург: УрО РАН, 2009. С. 69–71.
- Цветков, В.Ф. Старовозрастные притундровые леса Европейской части России / В.Ф. Цветков, Б.А. Семенов, И.В. Цветков // Лесоведение. – 2002. – № 5. – С. 12–17.
- Цыганов, Д.Н. Фитоиндиация экологических режимов в подзоне хвойно–широколиственных лесов / Д.Н. Цыганов. – М.: Наука, 1983. – 196 с.
- Черепанов, С. К.Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР) / С. К. Черепанов. – 2-е изд. – СПб.: Мир и семья, 1995. – 990 с.
- Чернавский, Д.С. Синергетика и информация / Д.С. Чернавский.– М.: Знание, 1990. –117с.

- Чернавский, Д.С. Модель конкуренции / Д.С. Чернавский, А.В. Щербаков, М.–Г.М. Зульпукаров. – М.: Институт прикладной математики РАН, 2006.– 22 с.
- Чертов, О.Г. Имитационное моделирование влияния лесных пожаров на пулы углерода в хвойных лесах европейской России и центральной Канады / О.Г. Чертов, А.С. Комаров, А.В. Грязькин, А.П. Смирнов, Д.С. Бхатти // Лесоведение. – 2012. – № 2. – С. 3–10.
- Шанин, В.Н. Моделирование конкуренции в смешанных лесах: структура модели и ее параметризация / В.Н. Шанин, М.П. Шашков, Н.В. Иванова, Л.К. Рочева, С.В. Москаленко, М.Г. Безрукова и др.// Математическое моделирование в экологии ЭкоМатМод–2013: материалы 3-й нац. науч. конф. с междунар. участием. –Пушино: ИФХиБПП РАН, 2013. – С. 271–272.
- Шанин, В.Н. Анализ устойчивости разновозрастных лесов средствами имитационного моделирования / В.Н. Шанин, А.С. Комаров, R. Mäkipää // Математическое моделирование в экологии: матер. 4-й Нац. науч. конф. с междунар. участием, 18–22 мая 2015 г. –Пушино: ИФХиБПП РАН, 2015. – С. 193–194.
- Шафир, М. А. Анализ соответствий: представление метода / М. А. Шафир // Социология: Методология, методы, математическое моделирование. –2009. –№ 28. –С. 29–44.
- Шевелев, А.А. Естественное возобновление на концентрированных вырубках елово–пихтовых насаждений низкогорного лесного района подзоны южной тайги западного склона Среднего Урала (в пределах Свердловской обл.): автореф. дис... канд.с.–х. наук / Шевелев Антон Антонович. – Свердловск, 1965.– 29 с.
- Шевелев, А.А. Изменение таксационных показателей в горных елово–лиственных насаждениях Южного Урала после проведения первого приема постепенных рубок / А.А. Шевелев, А.С. Чиндяев // Леса Урала и хозяйство в них.–1970. – Вып. 5.– С.150–152.
- Шевелев, Н.Н. Перехват вертикальных и горизонтальных осадков в лесах Среднего Урала / Н.Н. Шевелев // Лесоведение. – 1977. – № 6. – С.38–46.
- Шенников, А.П. Введение в геоботанику / А.П. Шенников. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1964. – 447 с.
- Шиманюк, А.П. Опыт изучения северных лесов / А.П. Шиманюк.–М.; Л.: Гос. изд-во с.-х. и колхоз.-кооп. лит-ры, 1931. – 104 с.
- Широких, П.С. Сравнение эффективности оценок экологических условий лесов южно–уральского региона при использовании различных экологических шкал / П.С. Широких //Аграрная Россия. – 2009. – №1. – С. 72–73.
- Шитиков, В.К. Макроэкология речных сообществ: концепции, методы, модели / В.К. Шитиков, Т.Д. Зинченко, Г.С. Розенберг.–Тольятти: Кассандра, 2011. –255 с.
- Шихов, А.Н. Оценка подверженности бореальных лесов Урала воздействию лесных пожаров и ветровалов по многолетним рядам спутниковых наблюдений / А.Н. Шихов, С.И. Перминов,

- Е.С. Киселева// Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2017. –Т. 14. –№ 4. –С. 87–102.
- Шиятов, С. Г. Опыт использования старых фотоснимков для изучения смен лесной растительности на верхнем пределе ее произрастания / С. Г.Шиятов//Флористические и геоботанические исследования на Урале. –Свердловск, 1983. –С. 76–109.
- Шиятов, С.Г. Дендрохронология верхней границы леса на Урале / С.Г. Шиятов. – М.: Наука, 1986. – 136 с.
- Шиятов, С.Г. Понятие о верхней границе леса / С.Г. Шиятов // Растительный мир Урала и его антропогенные изменения. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1985. – С. 32-58
- Шиятов, С.Г. Использование повторных ландшафтных снимков для оценки динамики лесотундровых сообществ на Полярном Урале / С. Г. Шиятов, В.С. Мазепа//Леса России и хозяйство в них. –2015. –№ 3 (54). –С. 20–28.
- Шлыкова, Н.А. Динамика фитомассы травяно–кустарничкового яруса на ранних этапах восстановления пихто–ельника травяно–липнякового / Н.А. Шлыкова // Экологические особенности и восстановительная динамика темнохвойных лесов Среднего Урала. – Свердловск: УрО РАН, 1991. – С.101 – 111.
- Шрейдер, Ю.А. О возможности теоретического вывода статистических закономерностей текста / Ю.А. Шрейдер // Проблемы передачи информации. –Вып. 1. –М.: Наука, 1967. –С. 3–10.
- Шумаков, В.С. Некоторые особенности физических свойств лесных почв / В.С. Шумаков // Научные работы по лесному почвоведению. – М.: Лесная промышленность. – 1973. – С. 4–29.
- Шумаков, В.С. Изменение водно–физических свойств почв Урала под влиянием рубок и механизированных заготовок / В.С. Шумаков, А.Б. Воронкова, В.И. Исаев, М.К. Мургаева // Изменение водоохраннозащитных функций лесов под влиянием лесохозяйственных мероприятий. – Пушкино, 1973. – С. 13–34.
- Юргенсон, Е.И. Ельники Прикамья и проблема их возобновления / Е.И. Юргенсон. – Пермь: Книгоиздат, 1958. – 75 с.
- Юровских, Е.В. Густота и надземная фитомасса подроста сосны на бывших сельскохозяйственных угодьях / Е.В. Юровских, С.В. Залесов, А.Г. Магасумова, А.В. Бачурина // Аграрный вестник Урала. –2016. –№ 11 (153). –С. 80–85.
- Юрцев, Б.А. Основные направления современной науки о растительном покрове / Б.А. Юрцев // Ботанический журнал.– 1988. – Т. 73.– №10 . – С. 1380–1392.
- Яблонский, А.И. Математические модели в исследовании науки / А.И.Яблонский. – М.: Наука, 1986. – 352 с.
- Яковлев, Г.В. Рост еловых насаждений и формирование их возрастных структур в подзоне

- южной тайги // Возобновление и формирование лесов на вырубках / Г.В. Яковлев / Сб. трудов ВНИИЛМ. – М., 1975. – Вып.4. – С. 71–94.
- Aichinger, E. Soziationen, Assoziationen und Waldentwicklungstypen / E. Aichinger. – Klagenfurt, 1954. – Н. 1. – P. 21–68.
- Aichinger, E. Pflanzen als forstlichen Standortszeiger / E. Aichinger. – Wien, 1967. – 367 p.
- Aichinger, E. Pflanzensoziologie und ihre Auswertung in der Forstwirtschaft der Ostalpen / E. Aichinger // Carinthia II, 1973. – 163/83. – P. 43–80.
- Alam, A. Effects of forest management and climate change on energy biomass and timber production with implications for carbon stocks and net CO<sub>2</sub> exchange in boreal forest ecosystems / A. Alam. – Dissertationes Forestales. – 2011. – 30 p.
- Alvarez–Buylla, E.R. Finding confidence limits on population growth rates: Monte Carlo test of a simple analytic method / E.R. Alvarez–Buylla, M. Slatkin // Oikos. – 1993. – Vol. 68(2). – P. 273–282.
- Anderegg, W.R.L Expert credibility in climate change / W.R.L. Anderegg, J.W. Prall, J. Harold, S.H. Schneider // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. – 2010. – 107(27), 12107–9. – pmid:WOS:000279572100014.
- Andersson, A. E. The Four, Logistical Revolutions / A. E. Andersson // Papers of Regional Science Association. – 1986. – № 59. – P. 1–12.
- Antipina, T.G. The Holocene dynamics of vegetation and environmental conditions on the eastern slope of the Northern Urals / T.G. Antipina, N.K. Panova, O.M. Korona // Russian Journal of Ecology. – 2014. – № 45 (5). – P. 351–358.
- Ayllón, D., Grimm V., Attinger S., Hauhs M., Simmer C., Vereecken H., Lischeid G. Cross-disciplinary links in environmental systems science: Current state and claimed needs identified in a meta-review of process models / D. Ayllón, V. Grimm, S. Attinger, M. Hauhs, C. Simmer, H. Vereecken, G. Lischeid // Science of The Total Environment. – 2018. – Vol. 622–623. – P. 954–973.
- Armstrong, A. Simulating Forest Dynamics of Lowland Rainforests in Eastern Madagascar / A. Armstrong, R. Fischer, A. Huth; H. Shugart, T. Fatoyinbo // Forests. – 2018. – № 9. – P. 214.
- Arnold, V. I. Catastrophe Theory / V. I. Arnold. – 3rd ed. – Berlin: Springer–Verlag, 1992. – 78 p.
- Badalamenti, E. Criteria to identify old-growth forests in the Mediterranean: A case study from Sicily based on literature review and some management proposals / E. Badalamenti, S. Pasta, T. La Mantia, D.S. La Mela Veca // Feddes Repertorium. – 2018. – Vol. 129. – № 1. – P. 25–37.
- Banaś, J. An Example of Uneven–Aged Forest Management for Sustainable Timber Harvesting / J. Banaś, S. Zięba, L. Bujoczek // Sustainability. – 2018. – Vol. 10. – №9.
- Bartelink, H. A growth model for mixed forest stands / H. Bartelink // Forest Ecology and

- Management. – 2000. – № 134 (1–3). – P. 29–43.
- Bartels, S.F. Trends in post-disturbance recovery rates of Canada's forests following wildfire and harvest / S.F. Bartels, H.Y.H. Chen, M.A. Wulder, J.C. White // *Forest Ecology and Management*. – 2016. – Vol. 361. – P. 194–207.
- Baselga, A. Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity / A. Baselga // *Global Ecology and Biogeography*. – 2010. – № 19. – P. 134–143.
- Battisti, C. Don't think local! Scale in conservation, parochialism, dogmatic bureaucracy and the implementing of the European Directives / C. Battisti, G. Fanelli // *Journal For Nature Conservation*. – 2015. – №24. – P. 24–30.
- Battisti, D.S. Historical warnings of future food insecurity with unprecedented seasonal heat / C. Battisti, R.L. Naylor // *Science*. – 2009. – № 323. – P. 240–244.
- Biging, G.S. A comparison of distance-dependent competition measures for height and basal area growth of individual conifer trees / G.S. Biging, M. Dobbertin // *Forest Science*. – 1992. – Vol. 38. – P. 695–720.
- Bitencourt, C. The worrying future of the endemic flora of a tropical mountain range under climate change / C. Bitencourt, A. Rapini, L.S. Damascena, et al. // *Flora*. – 2016. – Vol. 218. – P. 1–10.
- Blankmeister, J. Die Fichte im Mittelgebirge / J. Blankmeister, E. Hengst. – Radebeul, 1971. – 287 p.
- Boiffin, J. Ecological controls on post-fire vegetation assembly at multiple spatial scales in eastern North American boreal forests / J. Boiffin, I. Aubin, A.D. Munson // *Journal of Vegetation Science*. – 2015. – Vol. 26. – P. 360–372.
- Boisvenue, C., Running, S.W. Impacts of climate change on natural forest productivity – evidence since the middle of the 20th century / C. Boisvenue, S.W. Running // *Global Change Biology*. – 2006. – Vol. 12 (5). – P. 862–882.
- Botkin, D.B. Some ecological consequences of a computer model of forest growth / D.B. Botkin, J.F. Janak, J.R. Wallis // *Journal of Ecology*. – 1972. – Vol. 60. – P. 849–872.
- Brown, P.M. Historical (1860) forest structure in ponderosa pine forests of the northern Front Range, Colorado / P.M. Brown, M.A. Battaglia, P.J. Fornwalt, B. Gannon, L.S. Huckaby, C. Julian, A.S. Cheng // *Canadian Journal of Forest Research*. – 2015. – Vol. 45. – №11. – P. 1462–1473.
- Brunette, M. Adaptation to Climate Change in Forestry: A Multiple Correspondence Analysis (MCA) / M. Brunette; R. Bourke, M. Hanewinkel, R. Yousefpour // *Forests*. – 2018. – № 9. – P. 20.
- Buffa, G. Local versus landscape-scale effects of anthropogenic land-use on forest species richness / G. Buffa, S. Del Vecchio, E. Fantinato, V. Milano // *Acta Oecologica*. – 2018. – Vol. 86 (49). – P. 49–56.
- Bugmann, H. A review of forest gap models / H. Bugmann // *Climatic Change*. – 2001. – № 51(3–4). – P. 259–305.

- Bugmann, H. A comparison of forest gap models: Model structure and behaviour / H. Bugmann, X. Yan, M. Sykes, P. Martin, M. Lindner, P. Desanker, S. Cumming // *Climatic Change*. – 1996. – № 34(2). – P. 289–313.
- Canham, C.D. Different responses to gaps among shade-tolerant tree species / C.D. Canham // *Ecology*. – 1989. – Vol. 70. – № 3. – P. 548–550.
- Canullo, R. Unravelling mechanisms of short-term vegetation dynamics in complex coppice forest systems / R. Canullo, E. Simonetti, M. Cervellini, S. Chelli, S. Bartha, C. Wellstein, G. Campetella // *Folia Geobotanica*. – 2017. – Vol. 52. – P. 71–81.
- Casajus, N. An Objective Approach to Select Climate Scenarios when Projecting Species Distribution under Climate Change [Electronic resource] / N. Casajus, C. Périé, T. Logan, M.-C. Lambert, S. de Blois, D. Berteaux // *PLoS ONE*. – 2016. – Vol. 11(3). – P. e0152495.  
URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152495>
- Caswell, H. Life table response experiment analysis of the stochastic growth rate / H. Caswell // *Journal of Ecology*. – 2010. – Vol. 98(2). – P. 324–333.
- Chai, S.-L., Zhang, J., Nixon, A., Nielsen, S., 2016. Using Risk Assessment and Habitat Suitability Models to Prioritise Invasive Species for Management in a Changing Climate [Electronic resource] / S.-L. Chai, J. Zhang, A. Nixon, S. Nielsen // *PLoS ONE*. – 2016. – Vol. 11(10). – P. e0165292. – URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165292>
- Chambers, M.E. Patterns of conifer regeneration following high severity wildfire in ponderosa pine-dominated forests of the Colorado Front Range / M.E. Chambers, P.J. Fornwalt, S.L. Malone, M.A. Battaglia // *Forest Ecology and Management*. – 2016. – Vol. 378. – P. 57–67.
- Chen, I.C. Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming / I.-C. Chen, J.K. Hill, R. Ohlemüller, D. B. Roy, C.D. Thomas // *Science*. – 2011. – Vol. 333. – P. 1024–1026.
- Chen, L. Biodiversity and forest ecosystem health: some key problems / L. Chen, X.G. Wang // *Chinese Journal of Ecology*. – 2008. – Vol. 27. – P. 816–820.
- Chertov, O. Romul\_Hum—A model of soil organic matter formation coupling with soil biota activity. II. Parameterisation of the soil food web biota activity / O. Chertov, A. Komarov, C. Shaw, S. Bykhovets, P. Frolov, V. Shanin, P. Grabarnik, I. Priputina, E. Zubkova, M. Shashkov // *Ecological Modelling*. – 2017. – Vol. 345. – P. 125–139.
- Choi, J. A Forest Growth Model for the Natural Broadleaved Forests in Northeastern Korea / J. Choi, H. An // *Forests*. – 2016. – Vol. 7. – P. 288.
- Cobb, L. Parameter Estimation for the Cusp Catastrophe Model / L. Cobb // *Behavioral Science*. – 1981. – Vol. 26(1). – P. 75–78.
- Cobb, L. Estimation and Moment Recursion Relations for Multimodal Distributions of the Exponential Family / L. Cobb, P. Koppstein, N. Chen // *Journal of the American Statistical Association*. – 1983.

- Vol. 78(381). – P. 124–130.
- Collins, B.M. Stand-replacing patches within a “mixed severity” fire regime: Quantitative characterization using recent fires in a long-established natural fire area / B.M. Collins, S.L. Stephens // *Landscape Ecology*. – 2010. – Vol. 25. – P. 927–939.
- Connell, J.H. Some processes affecting the species composition in forest gaps / J.H. Connell // *Ecology*. – 1989. – Vol. 70. – № 3. – P. 560–562.
- Connell, J.H. Mechanism of succession in natural communities and their role in community stability and organization / J.H. Connell, R.O. Slatyer // *The American Naturalist*. – 1977. – Vol. 111. – № 982. – P. 1119–1144.
- Connell, J.H. Mechanisms of Succession in Natural Communities and Their Role in Community Stability and Organization / J.H. Connell, R.O. Slatyer // *The American Naturalist*. – 1977. – Vol. 111. – № 982. – P. 1119–1144.
- Coppi, A. Driving mechanisms of overstorey–understorey diversity relationships in European forests / A. Coppi, M. Fotelli, K. Radoglou, N.N. Setiawan, M. Vanhellemont, K. Verheyen // *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*. – 2016. – Vol. 19. – P. 21–29.
- D’Orangeville, L. Northeastern North America as a potential refugium for boreal forests in a warming climate / L. D’orangeville, L. Duchesne, D. Houle, D. Kneeshaw, B. Côté, N. Pederson // *Science*. – 2016. – Vol. 352 (6292). – P. 1452–1455.
- Day, N.J. Annual dynamics and resilience in post-fire boreal understory vascular plant communities / N.J. Day, S. Carrière, J.L. Baltzer // *Forest Ecology and Management*. – 2017. – Vol. 401. – P. 264–272.
- De Laender, F. Reintroducing environmental change drivers in biodiversity ecosystem functioning research / F. De Laender, J.R. Rohr, R. Ashauer, D.J. Baird, U. Berger, N. Eisenhauer, V. Grimm, U. Hommen, L. Maltby, C.J. Meliàn, F. Pomati, I. Roessink, V. Radchuk, P.J. Van den Brink // *Trends in Ecology & Evolution*. – 2016. – Vol. 31. – P. 905–915.
- Deakin, M. An elementary approach to catastrophe theory / M. Deakin // *Bulletin of Mathematical Biology*. – 1978. – Vol. 40 (4). – P. 429–450.
- Deakin, M., 1980. Applied catastrophe theory in the social and biological sciences / M. Deakin // *Bulletin of Mathematical Biology*. – 1980. – Vol. 42 (5). – P. 647–679.
- Downey M., Valkonen S., Heikkinen J. Natural tree regeneration and vegetation dynamics across harvest gaps in Norway spruce dominated forests in southern Finland / M. Downey, S. Valkonen, J. Heikkinen // *Canadian Journal of Forest Research*. – 2018. – Vol. 48(5). – P. 524–534.
- Doyle, T.W. Description of FORICO: A Tropical Gap Dynamics Model of the Lower Montane Rain Forest of Puerto Rico / T.W. Doyle // *Environmental Sciences Division Publication № 1875 (№ ORNL/TM–8102)*. – Oak Ridge, TN, USA, 1982.

- Drury, W.H. Succession / W.H. Drury, C.T. Nisbet // *Journal of the Arnold Arboretum*. –1973. – Vol. 54. – № 3. – P. 331–368.
- Duflot, R. Combining habitat suitability models and spatial graphs for more effective landscape conservation planning: An applied methodological framework and a species case study / R. Duflot, C. Avon, Ph. Roche, L. Bergès // *Journal for Nature Conservation*. – 2018. – Vol. 46. – P. 38–47.
- FAO, 2002. *Global Forest Resources Assessment 2001*. U.N. Food and Agriculture Organization, 181p.
- Favrichon, V. Modeling the dynamics and species composition of tropical mixed–species uneven–aged natural forest: Effects of alternative cutting regimes / V. Favrichon // *Forest Science*. – 1998. – Vol. 44(1). – P. 113–124.
- Fieberg, J. Stochastic matrix models for conservation and management: A comparative review of methods / J. Fieberg, S.P. Ellner // *Ecology letters*. – 2001. – Vol. 4(3). – P. 244–266.
- Finegan, B. Forest succession / B. Finegan // *Nature*. – 1984. – Vol. 312. – № 5590. – P. 109–114.
- Fischer, R. Lessons learned from applying a forest gap model to understand ecosystem and carbon dynamics of complex tropical forests / R. Fischer, F. Bohn, M.D. de Paula, C. Dislich, J. Groeneveld, A.G. Gutiérrez, M. Kazmierczak, N. Knapp, S. Lehmann, S. Paulick, et al // *Ecological Modelling*. – 2016. – Vol. 326. – P. 124–133.
- Fischer, R. Simulating carbon stocks and fluxes of an African tropical montane forest with an individual–based forest model / R. Fischer, A. Ensslin, G. Rutten, M. Fischer, D.S. Costa, M. Kleyer, A. Hemp, S. Paulick, A. Huth // *PLoS ONE*. – 2015. – Vol. 10. – P. e0123300.
- Flannigan, M.D. Future area burned in Canada / M.D. Flannigan, K. A. Logan, B.D. Amiro, W.R. Skinner, B.J. Stocks // *Climatic Change*. – 2005. – Vol. 72. – P. 1–16.
- Florez, L.G. Understanding 48 years of changes in tree diversity, dynamics and species responses since logging disturbance in a subtropical rainforest / L.G. Florez, J.K. Vanclay, K.J. Glencross, D. Nichols // *Forest Ecology and Management*. – 2017. – Vol. 393 (1). – P. 29–39.
- Foias, C. Inertial manifolds for nonlinear evolutionary equations / C. Foias, G.R. Sell, R. Temam // *Journal of Differential Equations*. – 1988. – Vol. 773. – №2. – P. 309–353.
- Forster, D.R. Disturbance history, community organization and vegetation dynamics of the old–growth Pisgah Forest, south–western New Hampshire, U.S.A. / D.R. Forster // *Journal of Ecology*. – 1988a. – Vol. 76. – №1. – P. 105–134.
- Forster, D.R. Species and stand response to catastrophic wind in central New England, U.S.A / D.R. Forster // *Journal of Ecology*. 1988b. – Vol. 76. – №1. – P. 135–151.
- Fourrier, A. Effects of canopy composition and disturbance type on understorey plant assembly in boreal forests / A. Fourrier, M. Bouchard, D. Pothier // *Journal of Vegetation Science*. – 2015. – Vol. 26. – P. 1225–1237.



- Franklin, J.F. Aspects of succession in the coniferous forests of the Pacific Northwest / J.F. Franklin, M.A. Hemstrom // *Forest succession*. – N.Y., 1981. – P. 212–229.
- Frelich, L.E. Neighborhood effects, disturbance severity and community stability in forests / L.E. Frelich, P.B. Reich // *Ecosystems*. – 1999. – №2. – P. 151–166.
- Frelich, L.E. Controls and reference conditions in forestry: The role of old-growth and retrospective studies / L.E. Frelich, M.W. Cornett, M.A. White // *Journal of Forestry*. – 2005. – Vol. 103 (7). – P. 339–344.
- Galloway, J.N. Transformation of the nitrogen cycle: Recent trends, questions, and potential solutions / J.N. Galloway, A.R. Townsend, J.W. Erisman, M. Bekunda, Z. Cai, J.R. Freney, L.A. Martinelli, S.P. Seitzinger, M.A. Sutton // *Science*. – 2008. – Vol. 320. – P. 889–892.
- Garnier A. Using a spatial and stage-structured invasion model to assess the spread of feral populations of transgenic oilseed rape / A. Garnier, J. Lecomte // *Ecological Modelling*. – 2006. – Vol. 194. – P. 141–149.
- Gauch, H. G., Jr. *Multivariate Analysis in Community Structure* / H. G. Gauch, Jr. – Cambridge: Cambridge University Press, 1982. – 298 p.
- Gauthier, S. Boreal Forest Health and Global Change / S. Gauthier, P. Bernier, T. Kuuluvainen, A.Z. Shvidenko, D.G. Schepaschenko // *Science*. – 2015. – Vol. 349. – P. 819–822.
- Gewin, V. Interdisciplinary research: break out / V. Gewin // *Nature*. – 2014. – Vol. 511. – P. 371–373.
- Gibson, C.M. Variation in plant community composition and vegetation carbon pools a decade following a severe fire season in interior Alaska / C.M. Gibson, M.R. Turetsky, K. Cottenie, E.S. Kane, G. Houle, E.S. Kasischke // *Journal of Vegetation Science*. – 2016. – Vol. 27. – P. 1187–1197.
- Gigante, D. Habitats on the grid: the spatial dimension does matter for red-listing / D. Gigante, B. Foggi, R. Venanzoni, et al // *Journal for nature conservation*. – 2016. – Vol. 32. – P. 1–9.
- Gilliam, F.S. Making more sense of the order: A review of Canoco for Windows 4.5, PC-ORD version 4 / F.S. Gilliam, N.E. Saunders // *Journal of Vegetation Science*. – 2003. – Vol. 14(2). – P. 297–304.
- Gilmore, R. *Catastrophe Theory for Scientists and Engineers* / R. Gilmore. – N.-Y.: Dover Publications, 1993. – 666 p.
- Gleason, H.A. The individualistic concept of the plant association / H.A. Gleason // *Bulletin of the Torrey Botanical Club*. – 1926. – Vol. 53. – № 1. – P. 7–26.
- Gleason, H.A. The individualistic concept of the plant association / H.A. Gleason // *Amer. Midl. Natur.* – 1939. – Vol. 21. – № 1. – P. 92–108.
- Gleason, H.A. The structure and development of the plant association / H.A. Gleason // *Bull. Torrey Bot. Club*. – 1917. – Vol. 44. – № 10. – P. 463–482.

- Global Biodiversity Outlook 2 [Electronic resource]. – Montreal: Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2006. – URL: <https://www.cbd.int/doc/gbo/gbo2/cbd-gbo2-en.pdf>
- Global Forest Resources Assessment, 2005: Progress towards sustainable forest management [Electronic resource]. – Rome, 2006. – 350 p. – URL: <http://www.fao.org/dOCrEP/008/a0400e/a0400e00.htm>
- Goldammer, J.G. Current Fire Regimes, Impacts and the Likely Changes–II: Forest Fires in Russia–Past and Current Trends. In *Vegetation Fires and Global Change: Challenges for Concerted International Action* / J.G. Goldammer, B.J. Stocks, A.I. Sukhinin, E.I. Ponomarev // A White Paper Directed to the United Nations and International Organizations; Global Fire Monitoring Center (GFMC). – Eifelweg, Germany: Kessel Publishing House, 2013. – P. 51–79.
- Graae, B.J. Response of vegetation and fire to Little Ice Age climate change: regional continuity and landscape heterogeneity / B.J. Graae, P.B. Sunde // *Ecography*. – 2000. – Vol. 23. – №. 6. – P. 720–731.
- Grasman, R. Fitting the Cusp Catastrophe in R: A cusp Package Primer / R. Grasman, H.L.J. van der Maas, E.–J. Wagenmakers // *Journal of Statistical Software*. – 2009. – Vol. 32 (8). – P.1–27.
- Greenacre, M. J. *Theory and Applications of Correspondence Analysis* / M. J. Greenacre. – London: Academic Press, 1984. – 364 p.
- Greene, D.F. Seedbed variation from the interior through the edge of a large wildfire in Alberta / D.F. Greene, S.E. Macdonald, S. Cumming, L. Swift // *Canadian Journal of Forest Research*. – 2005. – Vol. 35. – P.1640–1647.
- Grieneisen, M.L. The current status of climate change research [Electronic resource] / M.L. Grieneisen, M. Zhang // *Nature Clim Change*. – 2011. – Vol. 1(2). – P. 72–73. – URL: <http://www.nature.com/nclimate/journal/v1/n2/abs/nclimate1093.html#supplementary-information>
- Grimm, V. *Individual–based modeling and ecology* / V. Grimm, S.F. Railsback. – Princeton: Princeton University Press, 2005. – 480 p.
- Groote, S.D. Tree species identity outweighs the effects of tree species diversity and forest fragmentation on understorey diversity and composition / S.D. Groote, L.I.M. van Schroyenstein, B.K. Sercu, L. Lens // *Plant Ecology and Evolution*. – 2017. – Vol. 150(3). – P. 229–239.
- Guisan, A. Predictive habitat distribution models in ecology / A. Guisan, N. E. Zimmermann // *Ecological Modelling*. – 2000. – Vol. 135. – P. 147–186.
- Gunn, E.A. Models for strategic forest management // *Handbook of Operations Research in Natural Resources*; Weintraub, A., Romero, C., Bjørndal, T., Epstein, R., Eds.; – N.–Y.: Springer, 2007. – P. 317–341.
- Hagedorn, F. Treeline advances along the Urals mountain range – driven by improved winter conditions? / F. Hagedorn, S.G. Shiyatov, V.S. Mazepa, N.M. Devi, A.A. Grigor'ev, A.A. Bartysh,

- V.V. Fomin, D.S. Kapralov, M. Terent'ev, H. Bugman, A. Rigling, P.A. Moiseev // *Global Change Biology*. – 2014. – Vol. 20. – P. 3530–3543.
- Harcombe, P.A. The influence of fertilization on some aspects of succession in a humid tropical forest / P.A. Harcombe // *Ecology*. – 1977. – Vol. 58. – № 6. – P.1375–1383.
- Harrington, T.B. Logging debris and herbicide treatments improve growing conditions for planted Douglas–fir on a droughty forest site invaded by Scotch broom / T.B. Harrington, H. Peter David, R.A. Slesak // *Forest Ecology and Management*. – 2018. – Vol. 417, – P. 31–39.
- Haunschild, R. Climate Change Research in View of Bibliometrics / R. Haunschild, L. Bornmann, W. Marx // *PLoS ONE*. – 2016. – Vol. 11(7). – P. e0160393.
- Hennekens, S.M. TURBOVEG, a comprehensive database management system for vegetation data / S.M. Hennekens, J. H. J Schamine // *Journal of Vegetation Science*. – 2001. – Vol. 12. – P. 589–591.
- Hildebrandt, P. Investment decisions under uncertainty—A methodological review on forest science studies / P. Hildebrandt, T. Knoke // *Forest Policy and Economics*. – 2011. – Vol.13. – P. 1–15.
- Hill, M.O. Detrended Correspondence Analysis: an improved ordination technique / M.O. Hill, H.G. Gauch, Jr. // *Vegetatio*. – 1980. – Vol. 42. – P. 47–58.
- Hong, S. He. Forest landscape models: Definitions, characterization, and classification / S. He. Hong // *Forest Ecology and Management*. – 2008. – Vol. 254(3). – P. 484–498.
- Hope, J. C. E. Modelling forest landscape dynamics in Glen Affric, northern Scotland / J. C. E., Hope // Ph.D. Thesis. University of Stirling. – 2003. – 317 p.
- Huenneke, L.F. Stem dynamics of the shrub *Alnus Incana* ssp. *rugosa*: Transition matrix models / L.F. Huenneke, P.L. Marks // *Ecology*. – 1987. – Vol. 68(5). – P. 1234–1242.
- Hulst, R. van. On the dynamics of vegetation: patterns of environmental and vegetational change / R. van. Hulst // *Vegetatio*. –1978. Vol. 38.– № 2. – P. 65–75.
- Isaev, A.S. Universality principle in second–order phase transition models for describing succession processes and spatial distribution of species in forests / A.S. Isaev, T.M. Ovchinnikova, S.D. Baboi, V.G. Soukhovolsky // *Contemporary Problems of Ecology*. – 2014. – Vol. 7. – № 3. – P. 261–267.
- Isaev, A.S. Model approaches to description of critical phenomena in forest ecosystems / A.S. Isaev, V.G. Soukhovolsky, R.G. Khlebopros // *Contemporary Problems of Ecology*. – 2011. – Vol. 4. – № 7. – P. 699–705.
- Ito, S. Maintaining plant species composition and diversity of understory vegetation under strip–clearcutting forestry in conifer plantations in Kyushu, southern Japan / S. Ito, S. Ishigami, N. Mizoue, G.P. Buckley // *Forest Ecology and Management*. – 2006. – P. 231. – P. 234–241.

- Ivanova, N.S. Recovery of Tree Stand After Clear-cutting in the Ural Mountains / N.S. Ivanova / N.S. Ivanova // *International Journal of Bio-resource and Stress Management*. – 2014. – Vol. 5 (1). – P. 90–92.
- Ivanova, N.S. Vegetation and soil differentiation within the limits of ecotope on the Middle Ural region / N.S. Ivanova, E.S. Zolotova // *European Journal of Natural History*. – 2011. – №1. – P. 44–46.
- Ivanova, N.S. Model of Forest Restoration / N.S. Ivanova, E.S. Zolotova // *Population Dynamics: Analysis, Modelling, Forecast*. – 2013. – № 2(2). – P. 50–60.
- Ivanova, N.S. Development of Forest Typology in Russia / N.S. Ivanova, E.S. Zolotova // *International Journal of Bio-resource and Stress Management*. – 2014. – Vol. 5 (2). – P.298–303.
- Iverson, L. R. Estimating potential habitat for 134 eastern US tree species under six climate scenarios / L.R. Iverson, A. M. Prasad, S. N. Matthews, M. Peters // *Forest Ecology and Management*. – 2008. – Vol. 254. – №3. – P. 390–406.
- Ives, A.R. Stability and diversity of ecosystems / A.R. Ives, S.R. Carpenter // *Science*. – 2007. – Vol. 317. – P. 58–62.
- Jayathunga, S. Evaluating the Performance of Photogrammetric Products Using Fixed-Wing UAV Imagery over a Mixed Conifer-Broadleaf Forest: Comparison with Airborne Laser Scanning / S. Jayathunga, T. Owari, S Tsuyuki // *Remote Sensing*. – 2018. – Vol. 10(2). – P. 187.
- Jiang, H. Modelling the spatial pattern of net primary productivity in Chinese forests / H. Jiang, M.J. Apps, Y. Zhang, C. Peng, P.M. Woodard // *Ecological Modelling*. – 1999. – Vol. 122. – P. 275–288.
- Johnson, S.E. Evaluation of a stochastic diameter growth model for mountain ash / S.E. Johnson, I.S. Ferguson, L. Rong-wei // *Forest Science*. – 1991. – Vol. 37(6). – P. 1671–1681.
- Jones, D.D. Catastrophe theory applied to ecological systems / D.D. Jones // *Simulation*. – 1977. – №29 (1). – P. 1–15.
- Jongman, R.H.G. Data analysis in community and landscape ecology / R.H.G. Jongman, C.J.F. Ter Braak, O.F.R. Van Tongeren. – Wageningen, 1987. – 299 p.
- Jucker, T. Allometric equations for integrating remote sensing imagery into forest monitoring programmes / T. Jucker, B.M.M. Wedeux, D.A. Coomes, J. Caspersen, M. Haeni, P. Waldner, N.E. Zimmermann, J. Chave, C. Antin, N. Barbier, S. Momo, P. Ploton, F. Bongers, L. Poorter, F.J. Sterck, M. Dalponte, K.Y. van Ewijk, D.I. Forrester, S.I. Higgins, R.J. Holdaway, et al. // *Global Change Biology*. – 2017. – Vol. 23. – № 1. – P. 177–190.
- Kapralov, D.S. Changes in the composition, structure, and altitudinal distribution of low forests at the upper limit of their growth in the North Ural Mountains / D.S. Kapralov, S.G. Shiyatov, P.A. Moiseev, V.V. Fomin // *Russian Journal of Ecosystem Ecology*. – 2006. – Vol. 37 (6). – P. 367–

372.

- Keivan, B.F. Impact of logging intensity on stem density, basal area and biodiversity indices five years after logging in a Caspian hardwood forest / B.F. Keivan, M.O. Ghaffarzadeh // *Journal of Forest Science*. – 2017. – Vol. 63. – P. 167–172.
- Kellman, M. Geographic patterning in tropical weed communities and early secondary successions / M. Kellman // *Biotropica*. 1980. – Vol. 12. – № 2. Suppl. – P. 34–39.
- Kellomäki, S. A simulation model for the succession of the boreal forest ecosystem / S. Kellomäki, H. Vaisanen, H. Hanninen, T. Kolstrom, R. Lauhanen, U. Mattila & B. Pajari // *Silva Fennica*. – 1992. – №26. – P. 1–18.
- Kellomäki, S. Managing Boreal Forests in the Context of Climate Change: Impacts, Adaptation and Climate Change Mitigation [Electronic resource] / S.Kellomäki. – CRC Press, 2016. – 365 p. – URL: <https://doi.org/10.1201/9781315166063>
- Kent, M. Vegetation description and analysis: a practical approach / M. Kent, P. Coker. – London: Belhaven Press, 1992. – 363 p.
- Kern, C. Canopy gap size influences niche partitioning of the ground-layer plant community in a northern temperate forest / C. Kern, R. Montgomery, P. Reich, T. Strong // *Journal of Plant Ecology*. – 2013. – Vol. 6(1). – P. 101–112.
- Khanina, L.G. Model predictions of effects of different climate change scenarios on species diversity with or without management intervention, repeated thinning, for a site in Central European Russia / L.G. Khanina, M.V. Bobrovsky, A.S. Komarov, V.N. Shanin, S.S. Bykhovets // *Nitrogen deposition, critical loads and biodiversity* – Vol. 29. – 2014. – P.
- Köhler, P. Simulating growth dynamics in a South–East Asian rainforest threatened by recruitment shortage and tree harvesting / P. Köhler, A. Huth // *Climatic Change*. – 2004. – Vol. 67. – P. 95–117.
- Köhler P., Huth A. The effects of tree species grouping in tropical rainforest modelling: simulations with the individual-based model FORMIND / P. Köhler, A. Huth // *Ecological Modelling*. – 1998. – Vol. 109(3). – P. 301–321.
- Komarov, A. EFIMOD 2 – a model of growth and cycling of elements in boreal forest ecosystems / A. Komarov, O. Chertov, S. Zudin, M. Nadporozhskaya, A. Mikhailov, S. Bykhovets, E. Zudina, E. Zoubkova // *Ecological Modelling*. – 2003. – 170(2–3). – P.373–392.
- Korotkov, V.N. Succession in mixed boreal forest of Russia: Markov models and non–Markov effects / V.N. Korotkov, D.O. Logofet, M. Loreau // *Ecological Modelling*. – 2001. – Vol. 142(1–2). – P. 25–38.
- Korotkov, V.N. Basic concepts and methods of restoration of natural forests in Eastern Europe / V.N., Korotkov // *Russian Journal of Ecosystem Ecology*. – 2017. – Vol.2(1). – P. 1–18.

- Kovacs, K. The relationship of the Terra MODIS fire product and anthropogenic features in the Central Siberian landscape / K. Kovacs, K.J. Ranson, G. Sun, V.I. Kharuk // *Earth Interactions*. – 2004. – Vol. 8. – P. 1–25.
- Krawchuk, M. Predicted changes in fire weather suggest increases in lightning fire initiation and future area burned in the mixedwood boreal forest / M. Krawchuk, S. Cumming, M. Flannigan // *Climatic Change*. – 2009. – Vol. 92. – P. 83–97.
- Krylov, A. Remote sensing estimates of stand-replacement fires in Russia, 2002–2011 / A. Krylov, P. Potapov, T. Loboda, A. Tyukavina, S. Turubanova, M.C. Hansen, J.L. McCarty // *Environmental Research Letters*. – 2014. – Vol. 9 (10). – P. 105007.
- Kuuluvainen, T., 2016. Ecosystem Management of the Boreal Forest [Electronic resource] / T. Kuuluvainen. – Oxford Research Encyclopedias, 2016. – URL: <http://oxfordre.com/environmentalscience/view/10.1093/acrefore/9780199389414.001.0001/acrefore-9780199389414-e-15>
- Kuusela, K. Zur Bedeutung der Fichte in europaischen borealen Nadelwaldzone / K. Kuusela // *Forstw. Cbl*. 1990. – Bd.109. – S.155–161.
- Lankin, Y. P.Methodological Problems in the Modeling of Ecosystems and Ways of Solutions / Y. P. Lankin, N.S. Ivanova // *International Journal of Bio-resource and Stress Management*. – 2015. – Vol. 6 (5). – P. 631–638.
- Lankin, Yu.P. Adaptive modeling of planetary processes on the basis of satellite data [Electronic resource] / Yu.P. Lankin, D.A. Mokogon, S.V. Tereshin // *Modern problems of science and education*. – 2012. – Vol. 6. – URL: <https://science-education.ru/pdf/2012/6/13.pdf>
- Larocque, G.R. 2015 Ecological Forest Management Handbook / G.R. Larocque, H.H. Shugart, W. Xi, J.A. Holm / *Forest succession models*. – London: CRC Press, 2016. – P. 233–266.
- Larocque, G.R. Process-based models: A synthesis of models and applications to address environmental and management issues / G.R. Larocque, A. Komarov, O. Chertov, V. Shanin, J. Liu, J.S. Bhatti, W. Wang, C. Peng, H.H. Shugart, W. Xi, J.A. Holm // *Ecological forest management handbook*. – Boca Raton: CRC Press, 2016. – P. 223–266.
- Larson, A.J. Tree spatial patterns in fire-frequent forests of western North America, including mechanisms of pattern formation and implications for designing fuel reduction and restoration treatments / A.J. Larson, D. Churchill // *Forest Ecology and Management*. – 2012. – Vol. 267. – P. 74–92.
- Laubhann, D. The impact of atmospheric deposition and climate on forest growth in European monitoring plots: an individual tree growth model / D. Laubhann, H. Sterba, G. Reinds, W. De Vries // *Forest Ecology and Management*. – 2009. – Vol. 258(8). – P. 1751–1761.
- Lawler, J.J. Projected climate-driven faunal movement routes / J.J. Lawler, A.S. Ruesch, J.D. Olden,

- B.H. McRae // *Ecology Letters*. – 2013. – Vol. 16(8). – P. 1014–1022.
- Lefkovitch, L.P. The study of population growth in organisms grouped by tages / L. P. Lefkovitch// *Biometrics*. – 1965. – Vol. 21(1). – P.1–18.
- Legendre, L. *Numerical Ecology* / L. Legendre, P. Legendre.– Amsterdam; Oxford; New York: Elsevir, 1983. – 420 p.
- Legendre, P. Spatial autocorrelation: Trouble or new paradigm? / P. Legendre // *Ecology*. – 1993. – Vol. 74(6). – P.1659–1673.
- Legendre, P. *Numerical Ecology* / P. Legendre, L. Legendre. – 2nd ed. – Amsterdam: Elsevier, 1998. – 853 p.
- Lehtonen, A. Forest soil carbon stock estimates in a nationwide inventory: Evaluating performance of the ROMULv and Yasso07 models in Finland / A. Lehtonen, T. Linkosalo, M. Peltoniemi, P. Sievänen, R. Mäkipää, P. Tamminen, M. Salemaa, T. Nieminen, B. Ľupek, J. Heikkinen, A. Komarov // *Geoscientific Model Development*. – 2016. – Vol. 9 (11). – P. 4169–4183.
- Leibundgut, H. *Europaischer Walder der Bergstufe* / H. Leibundgut. – Bern: Haupt, 1982. – 254s.
- Leikola, M. Zur Bedeutung der Fichte im Finnland und zu ihrer Verjüngung / M. Leikola // *Forstw. Cbl*. – 1990. – Bd.109. – S.162–167.
- Li, X. Comparing Effects of Climate Warming, Fire, and Timber Harvesting on a Boreal Forest Landscape in Northeastern China / X. Li, H.S. He, Z. Wu, Y. Liang, J.E. Schneiderman // *PLoS ONE*. – 2013. – Vol. 8(4). – P. e59747.
- Liang, J. Mapping large-scale forest dynamics: a geospatial approach / J. Liang // *Landscape Ecology*. – 2012. – Vol. 27 (8). – P.1091–1108.
- Liang, J. Growth and yield of all-aged Douglas-fir/western hemlock stands: A matrix model with stand diversity effects / J. Liang, J. Buongiorno, R.A. Monserud // *Canadian Journal of Forest Research*. – 2005. – Vol. 35(10). – P. 2369–2382.
- Liang, J. A geospatial model of forest dynamics with controlled trend surface / J. Liang, M. Zhou // *Ecological Modelling*. – 2010. – Vol. 221(19). – P. 2339–2352.
- Liang, J. Mapping forest dynamics under climate change: A matrix model / J. Liang, M. Zhou, D. Verbyla, L. Zhang, A.L. Springsteen, T. Malone // *Forest Ecology and Management*. – 2011. – Vol. 262. – P. 2250–2262.
- Liang, J. Matrix Model of Forest Dynamics: An Overview and Outlook / J. Liang, N. Picard // *Forest Science*. – 2013. – Vol. 59 (3). – P. 359–378.
- Liang, J. Positive biodiversity-productive relationship predominant in global forest / J. Liang, T.W. Crowther, N. Picard, et al // *Science*. – 2016. – Vol. 354 (6309). – P. aaf8957.
- Lindenmayer, D.B. Direct measurement versus surrogate indicator species for evaluating environmental change and biodiversity loss / D.B. Lindenmayer, M. Likens // *Ecosystems*. – 2001.

– Vol. 14. – P. 47–59.

- Lindenmayer, D.B. Indicators of Biodiversity for Ecologically Sustainable Forest Management / D.B. Lindenmayer, Ch.R. Margules, D.B. Botkin // *Conservation Biology*. – 2000. – Vol. 14(4). – P. 941–950.
- Lippok, D. Topography and edge effects are more important than elevation as drivers of vegetation patterns in a neotropical montane forest / D. Lippok, S.G. Beck, D. Renison, I. Hensen, A.E. Apaza, M. Schleuning // *Journal of Vegetation Science*. – 2014. – Vol. 25(3). – P. 724–733.
- Lischke, H. Dynamic spatio–temporal landscape models / H. Lischke, J. Bolliger, R. Seppelt // *A Changing World*. – 2007. – Vol. 8. – P. 273–296.
- Lischke, H. TreeMig: A forest–landscape model for simulating spatio–temporal patterns from stand to landscape scale / H. Lischke, N. Zimmermann, J. Bolliger, S. Rickebusch, T. Löffler // *Ecological Modelling*. – 2006. – Vol. 199. – P. 409–420.
- Loehle, C. Catastrophe theory in ecology: a critical review and an example of the butterfly catastrophe / C. Loehle // *Ecological Modelling*. – 1989. – Vol. 49(1–2). – P.125–152.
- Logofet, D.O. The mathematics of Markov models: What Markov chains can really predict in forest successions / D.O Logofet, E.V. Lesnaya // *Ecological Modelling*. – 2000. – Vol. 126(2–3). – P. 285–298.
- Logofet, D.O. Projection matrix calibration under reproductive uncertainty: the maximization of  $\lambda_1$  and the merit of indication / D.O. Logofet // *Population Dynamics: Analysis, Modelling, Forecast*. – 2013. – № 2 (1). – P. 1–22.
- Lorimer, C.G. Classification and dynamics of developmental stages in late–successional temperate forests / C.G. Lorimer, C.R. Halpin // *Forest Ecology and Management*. – 2014. – Vol. 334. – P. 344–357.
- Lotka, A.J. *Elements of Physical Biology* / A.J. Lotka. – Baltimore: Williams and Wilkins, 1925. – 460 p.
- Lydersen, J.M. Evidence of fuels management and fire weather influencing fire severity in an extreme fire event / J.M. Lydersen, B.M. Collins, M.L. Brooks, J.R. Matchett, K.L. Shive, N.A. Povak, V.R. Kane, D.F. Smith // *Ecological applications*. – 2017. – Vol. 27(7). – P. 2013–2030.
- Maiti, R. *Applied biology of woody plants* / R. Maiti, H.G. Rodriguez, Ch. Kumari. –USA: American Academic Press, 2016. – 369 p.
- Maiti, R. *Autoecology and Ecophysiology of Woody Shrubs and Trees: Concepts and Applications* / R. Maiti, H.G. Rodriguez, N.S. Ivanova.– N.–Y.: John Wiley & Sons, 2016. – 352c.
- Malone, S.L. Mixed–Severity Fire Fosters Heterogeneous Spatial Patterns of Conifer Regeneration in a Dry Conifer Forest / S.L. Malone, P. J. Fornwalt, M. A. Battaglia, M. E. Chambers, J. M. Iniguez, C. H. Sieg // *Forests*. – 2018. – Vol. 9(1). – P. 45.



- Manders, P.T. A transition matrix model of the population dynamics of the Clanwilliam cedar (*Widdringtonia cedarbergensis*) in natural stands subject to fire / P.T. Manders // *Forest Ecology and Management*. – 1987. – Vol. 20(1–2). – P. 171–186.
- Mazepa, V.S. Stand density in the last millennium at the upper tree–line ecotone in the Polar Ural Mountains / V.S. Mazepa // *Res Canadian Journal of Forest Research*. – 2005. – Vol. 35. – P. 2082–2091.
- Meen, E. Forest stand modelling as a tool to predict performance of the understory herb *Cornus suecica* / E. Meen, A. Nielsen, M. Ohlson // *Silva Fennica*. – 2012. – № 46 (4). – P. 479–499.
- Miller J. Incorporating spatial dependence in predictive vegetation models / J. Miller, J. Franklin, R. Aspinall // *Ecological Modelling*. – 2007. – Vol.202/ – № 3–4. – P. 225–242.
- Miller, P.M. Effects of slash and burn agriculture on species abundance and composition of a tropical deciduous forest // *Forest Ecology and Management*. – 1998. – Vol. 103(2-3). – P. 191–201.
- Mirkin, B. The history of the Braun–Blanquet approach application and the modern state of syntaxonomy in Russia / B.Mirkin, N.Ermakov // *Braun–Blanquetia*. – 2010. – Vol. 46. – P. 47–54.
- Mirkin, B.M. Assessment of vegetation  $\beta$ –diversity on the basis of syntaxonomy / B.M. Mirkin, V.B. Martynenko, L.G. Naumova // *Russian Journal of Ecology*. – 2014. – Vol. 45(2). – P. 103–106.
- Mirkin, B.M. The theory and practice in making decisions on classic and non–classic syntaxonomical analysis / B.M. Mirkin, V.B. Martynenko, S.M. Yamalov, L.G. Naumova // *Vegetation of Russia*. – 2009. – Vol. 14. – P. 142–151.
- Mitchell, R.J. Natural disturbance as a guide to silviculture / R.J. Mitchell, B.J. Palik, J.M.L. Hunter // *Forest Ecology and Management*. – 2002. – Vol. 155(1–3). – P. 315–317.
- Mladenoff, D. LANDIS and forest landscape models / D. Mladenoff // *Ecological Modelling*. – 2004. – Vol. 180(1). – P. 7–19.
- Morgan, P. Challenges of assessing fire and burn severity using field measures, remote sensing and modeling / P. Morgan, R.E. Keane, G.K. Dillon, T.B. Jain, A.T. Hudak, E.C. Karau, P.G. Sikkink, Z.A. Holden, E.K. Strand // *International Journal of Wildland Fire*. – 2014. – Vol. 23(8). – P. 1045–1060.
- Morin, X. Temporal stability in forest productivity increases with tree diversity due to asynchrony in species dynamics / X. Morin, L. Fahse, C. de Mazancourt, M. Scherer–Lorenzen, H. Bugmann // *Ecology letters*. – 2014. – Vol. 17. – P. 1526–1535.
- Motomura, I. A statistical treatment of associations / I. Motomura // *Japanese Journal of Zoology*. – 1932. – Vol. 44. – P. 379–387.
- Mueller–Dombois, D. Community organization and ecosystem theory / D. Mueller–Dombois // *Canadian Journal of Botany*. – 1988. – Vol.66. – №12. – P.2620–2625.
- Mueller–Dombois, D. Aims and methods of vegetation ecology / D. Mueller–Dombois, H. Ellenberg.

– N.–Y. etc. Willev– Inter–Sci Publ., 1974. – 547 p.

- Munro, D.D. Forest growth models: a prognosis / D.D. Munro // In: Growth models for tree and stand simulation; ed. J. Fries. – Stockholm: Royal College of Forestry, 1974. – P. 7-21.
- Murray, D.L. Continental divide: Predicting climate–mediated fragmentation and biodiversity loss in the boreal forest [Electronic resource] / D.L. Murray, M.J.L. Peers, Y.N. Majchrzak, M. Wehtje, C. Ferreira, R.S.A. Pickles // PLoS ONE. – 2017. – Vol. 12(5). – P. e0176706. – URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176706>
- Nadrowski, K. Harmonizing, annotating and sharing data in biodiversity–ecosystem functioning research / K. Nadrowski, S. Ratcliffe, G. Bönisch, H. Bruelheide, J. Kattge, X. Liu, L. Maicher, X. Mi, M. Prilop, D. Seifarth, K. Welter, S. Windisch, C. Wirth // Methods in Ecology and Evolution. – 2013. – Vol. 4. – P. 201–205.
- Neeff, T. A growth model for secondary forest in Central Amazonia / T. Neeff, J. Dos Santos // Forest Ecology and Management. – 2005. – Vol. 216. – P. 270–282.
- Newbold, T. Global effects of land use on local terrestrial biodiversity / T. Newbold, L.N. Hudson, S.L.L. Hill, et al. // Nature. – 2015. – Vol. 520. – P. 45–50.
- Newell, S.J. Reproductive strategies in herbaceous plant communities during succession / S.J. Newell, E.J. Tramer // Ecology. – 1978. – Vol. 59. – № 2. – P. 228–234.
- Nilsson, M. Understory vegetation as a forest ecosystem driver: Evidence from the northern Swedish boreal forest / M. Nilsson, D. Wardle // Frontiers in Ecology and the Environment. – 2005. – Vol. 3(8). – P. 421–428.
- O’Brien, S.T. Global climatic change, hurricanes, and a tropical forest / S.T. O’Brien, B.P. Hayden, H.H. Shugart // Climatic Change. – 1992. – Vol. 22(3). – P. 175–190.
- Ochuodho, T. O. Economic impacts of climate change considering individual, additive, and simultaneous changes in forest and agriculture sectors in Canada: A dynamic, multi–regional CGE model analysis / T.O. Ochuodho, V.A. Lantz, E. Olale // Forest Policy and Economics. – 2016. – Vol. 63. – P. 43–51.
- Okland, R.H. Vegetation ecology: theory, methods and applications with reference to Fennoscandia / R.H. Okland // Sommerfeltia supplement. – 1990. – Vol. 1. – P. 1–216.
- Okland, R.H. Dynamics of understory vegetation in an old–growth boreal coniferous forest, 1988–1993 / R.H. Okland, O. Eilertsen // Journal of Vegetation Science. – 1996. – Vol. 7. – № 5. – P. 747–762.
- Okland, R.H. Vegetation–environment relationships of boreal coniferous forests in the Solhomfjell area, Gjerstad, S. Norway / R.H. Okland, O. Eilertsen // Sommerfeltia. – 1993. – № 16. – P. 1–254.
- Oksanen, J. Multivariate Analysis of Ecological Communities in R: Vegan Tutorial [Electronic resource] / J. Oksanen. – 2013. – URL: <http://cc.oulu.fi/~jarioksa/opetus/metodi/vegantutor.pdf>

- Oliva, T. GEMCAT: A General Multivariate Methodology for Estimating Catastrophe Models / T. Oliva, W. Desarbo, D. Day, K. Jedidi // *Behavioral Science*. – 1987. – Vol. 32(2). – P. 121–137.
- Oliver, I. Identifying performance indicators of the effects of forest management on ground-active arthropod biodiversity using hierarchical partitioning and partial canonical correspondence analysis / I. Oliver, R. Mac Nally, A. York // *Forest Ecology and Management*. – 2000. – Vol. 139 (1–3). – P. 21–40.
- Olupot, W. A variable edge effect on trees of Bwindi Impenetrable National Park, Uganda, and its bearing on measurement parameters / W. Olupot // *Biological Conservation*. – 2009. – Vol. 142 (4). – P. 789–797.
- Orois, S.S. Modelling the growth and management of mixed uneven-aged maritime pine – Broadleaved species forests in Galicia, north-western Spain / S.S. Orois, R.R. Soalleiro // *Scandinavian Journal of Forest Research*. – 2002. – Vol. 17(6). – P. 538–547.
- Panova, N.K. Late Glacial and Holocene environmental history on the eastern slope of the Middle Ural Mountains, Russia / N.K. Panova, T.G. Antipina // *Quaternary International*. – 2016. – Vol. 420. – P. 76–89.
- Parrota, J.A. Harvesting intensity affects structure and composition in an upland Amazonian forest / J.A. Parrota, J.K. Francis, O.H. Knowles // *Forest Ecology and Management*. – 2002. – Vol. 169. – P. 243–255.
- Perry, D.A. The ecology of mixed severity fire regimes in Washington, Oregon, and Northern California / D.A. Perry, P.F. Hessburg, C.N. Skinner, T.A. Spies, S.L. Stephens, A.H. Taylor, J.F. Franklin, B. McComb, G. Riegel // *Forest Ecology and Management*. – 2011. – Vol. 262. – P. 703–717.
- Peter, D.H. Effects of forest harvesting, logging debris, and herbicides on the composition, diversity and assembly of a western Washington, USA plant community / D.H. Peter, T.B. Harrington // *Forest Ecology and Management*. – 2018. – Vol. 417. – P.18–30.
- Picard, N. Modelling forest dynamics with a second-order matrix model / N. Picard, A. Bar-Hen, Y. Guédon // *Forest Ecology and Management*. – 2003. – Vol. 180(1–3). – P. 389–400.
- Pielou, E. C. *The Interpretation of Ecological Data: A Primer on Classification and Ordination* / E. C. Pielou. – N.–Y.: John Wiley & Sons, 1984.– 263 p.
- Ponomarev, E.I. Wildfires Dynamics in Siberian Larch Forests / E.I. Ponomarev, V.I. Kharuk, K.J. Ranson // *Forests*. – 2016. – Vol. 7. – P. 125.
- Porté, A. Modelling mixed forest growth: a review of models for forest management / A. Porté, H.H. Bartelink // *Ecological Modelling*. – 2002. – Vol. 150. – P. 141–188.
- Poston, T. *Catastrophe Theory and Its Applications* / T. Poston, I. Stewart. – N.–Y.: Dover Publications, 1996. 491 p.

- Pyy, J. Introducing a Non-Stationary Matrix Model for Stand-Level Optimization, an Even-Aged Pine (*Pinus Sylvestris* L.) Stand in Finland / J. Pyy, A. Ahtikoski, E. Laitinen, J. Siipilehto // *Forests*. – 2017. – Vol. 8(5). – P. 163.
- Pyy, J. Solution of Optimal Harvesting Problem by Finite Difference Approximations of Size-Structured Population Model / J. Pyy, A. Ahtikoski, A. Lapin, E. Laitinen // *Mathematical and Computational Applications*. – 2018. – Vol. 23(2). – P. 22.
- Qiu, B. Developing indices of temporal dispersion and continuity to map natural vegetation / B. Qiu, Zh. Liu, Zh. Tang, Ch. Chen // *Ecological Indicators*. – 2016. – Vol. 64. – P. 335–342.
- Radl, A. A Bayesian Belief Network Approach to Predict Damages Caused by Disturbance Agents / A. Radl, M.J. Lexer, H. Vacik // *Forests*. – 2017. – Vol. 9(1). – P. 15.
- Rehfuess, K.E. Übersicht über die bodenkundliche Forschung im Zusammenhang mit den neuartigen Waldschaden / K.E. Rehfuess // *KfK/PEF-Berichte*. – Karlsruhe, 1988. – Bd. 35(1). – P. 1–26.
- Rietkerk, M. Sahelian rangeland development; a catastrophe? / M. Rietkerk, P. Ketner, L. Stroosnijder, H.H.T. Prins // *Journal of Range Management Archives*. – 1996. – № 49(6). – P. 512–519.
- Risch, A. Simulating structural forest patterns with a forest gap model: A model evaluation / A. Risch, C. Heiri, H. Bugmann // *Ecological Modelling*. – 2005. – Vol. 181. – P. 161–172.
- Rodriguez-Baca, G. Rating a Wildfire Mitigation Strategy with an Insurance Premium: A Boreal Forest Case Study / G. Rodriguez-Baca, F. Raulie, A. Leduc // *Forests*. – 2016. – Vol. 7(5). – P. 107.
- Rollin, F. Management of mixed-species, uneven-aged forests in the French Jura: From stochastic growth and price models to decision tables / F. Rollin, J. Buongiorno, M. Zhou, J.L. Peyron // *Forest Science*. – 2005. – Vol. 51(1). – P. 64–75.
- Rosser, J. The Rise and Fall of Catastrophe Theory Applications in Economics: Was the Baby Thrown Out with the Bathwater? / J. Rosser // *Journal of Economic Dynamics and Control*. – 2007. – Vol. 31(10). – P. 3255–3280.
- Runkle, J.R. Synchrony of regeneration, gaps, and latitudinal differences in tree species diversity / J.R. Runkle // *Ecology*. – 1989. – Vol. 70. – № 3. – P. 546–547.
- Sable, S.E. A comparison of individual-based and matrix projection models for simulating yellow perch population dynamics in Oneida Lake, New York, USA. / S.E. Sable, K.A. Rose // *Ecological Modelling*. – 2008. – Vol. 215(1–3). – P. 105–121.
- Ullah, S. Potential fluxes of N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> from soils of tree forest types in Eastern Canada / S. Ullah, R. Frasier, L. King, N. Picotte-Anderson, T. R. Moore // *Soil Biology and Biochemistry*. – 2008. – № 40. – P. 986–994.
- Schaphoffa, S. Tamm Review: Observed and projected climate change impacts on Russia's forests and its carbon balance / S. Schaphoffa, Ch.P.O. Reyera, D. Schepaschenko, D. Gertena, A. Shvidenko

- // *Forest Ecology and Management*. – 2016. – Vol.361 (1). – P. 432–444.
- Scheffer, M. Catastrophic regime shifts in ecosystems: linking theory to observation // *Trends in Ecology & Evolution*. – 2003. – Vol. 18(12). – P. 648–656.
- Schlicht, R. Forest gap dynamics and the Ising model / R. Schlicht, Y. Iwasa // *Journal of Theoretical Biology*. – 2004. – Vol. 230(1). – P. 65–75.
- Schmidt–Vogt, H. Brotbaum Fichte / H. Schmidt–Vogt. – *Allgem. Forstzeitschr*, 1967.– Bd 19. – S. 303.
- Schmidt–Vogt, H. Die Fichte / H. Schmidt–Vogt. – Hamburg; Berlin, 1977, – Bd. 1. – 667 p.
- Schmidt–Vogt, H. Struktur und dynamik natürlicher Fichtenwälder in der borealen Nadelwaldzone / H. Schmidt–Vogt // *Sweiz. Z. Forstwes.* – 1985. – Bd.136. – № 12. – S. 977–994.
- Seidel, D. A holistic approach to determine tree structural complexity based on laser scanning data and fractal analysis / D. Seidel // *Ecology and Evolution*. – 2017. – Vol. 8(1). – P. 128–134.
- Şentürk, Ö. Potential Distribution Modeling and Mapping of Brutian Pine Stands in the Inner Parts of the Middle Black Sea Region in Turkey / Ö. Şentürk, S. Gülsoy, İ. Tümer // *Polish Journal of Environmental Studies*. – 2019. – Vol. 28(1). – P.321–327.
- Shanin, V.N. Tree species composition affects productivity and carbon dynamics on different site types in boreal forests / V.N. Shanin, A.S. Komarov, R. Mäkipää // *European Journal of Forest Research*. – 2014. – Vol. 133. – P. 273–286.
- Shaw, C. Application of the forest ecosystem model EFIMOD 2 to jack pine along the Boreal Forest Transect Case Study / C. Shaw, O. Chertov, A. Komarov, J. Bhatti, M. Nadporozskaya, M. Apps, S. Bykhovets, A. Mikhailov // *Canadian Journal of Soil Science*. – 2006. – Vol. 86. – № 2. – P. 171–185.
- Shenoy, A. Persistent effects of fire severity on early successional forests in interior Alaska / A. Shenoy, J.F. Johnstone, E.S. Kasischke, K. Kielland // *Forest Ecology and Management*. – 2011. Vol. 261. – P. 381–390.
- Shirokikh, P.S. Comparison of different ecological scales with respect to efficiency in assessing ecological conditions in forests of the Southern Ural Region / P.S. Shirokikh, V.B. Martynenko // *Russian Journal of Ecology*. – 2009. – Vol. 40. – № 7. – P. 457–465.
- Shiyatov, S.G. Reconstruction of climate and the upper timberline dynamics since AD 745 by tree-ring data in the Polar Ural Mountains / S.G. Shiyatov // *International Conference on Past, Present and Future Climate (Helsinki, Finland, 22-25 aug. 1995)*; Ed. H. Pirkko. – Helsinki: Painatuskeskus: Publication of the Academy of Finland, 1995. – P. 144–147.
- Shugart, H.H. Forest succession models / H.H. Shugart, D.C. West Jr. // *BioScience*. –1980. – Vol. 30. – P. 308–313.
- Shugart, H.H. *Global Change and the Terrestrial Biosphere: Achievements and Challenges* / H.H.

- Shugart, F.I. Woodward. – Oxford: Wiley-Blackwell Press, 2011. – 242 p.
- Shugart, H.H. Gap models and their individual-based relatives in the assessment of the consequences of global change / H.H. Shugart, B. Wang, R. Fischer, J. Ma, J. Fang, X. Yan, A. Huth, A.H. Armstrong // *Environmental Research Letters*. – 2018. – Vol.13. – P.033001.
- Shugart, H.H. Computer and remote-sensing infrastructure to enhance large-scale testing of individual-based forest models / H.H Shugart, G.P. Asner, R. Fischer, A. Huth, N. Knapp, T. Le Toan, J.K. Shuman // *Frontiers in Ecology and the Environment*. – 2015. – Vol. 13. – P. 503–511.
- Shvidenko, A.Z. Climate Change and Wildfires in Russia / A.Z. Shvidenko, D.G. Schepaschenko // *Contemporary Problems of Ecology*. – 2013. – Vol. 6(7). – P. 683–692.
- Siren, G. The development of spruce on raw humus sites in Northern Finland and its ecology / G. Siren // *Acta forest fennica*. – 1955. – Vol. 62. – P. 1–363.
- Siry, J. P. Sustainable forest management: Global trends and opportunities / J.P. Siry, F.W. Cubbage, M.R. Ahmed // *Forest Policy and Economics*. – 2005. – Vol. 7 (4). – P. 551–561.
- Smith, W.B. Forest Resources of the United States, 1997 / W.B. Smith, J.B. Vissage, D.R. Darr, R.M. Sheffield. – St. Paul, MN: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Research Station, 2001. – 198 p.
- Soja, A. J. Climate-induced boreal forest change: predictions versus current observations / A.J. Soja, N. M. Tchebakova, N.H.F. French, M.D. Flannigan, H. H. Shugart, B.J. Stocks, A.I.Sukhinin, E. I. Parfenova, F. S. Chapin, P.W.Stackhouse // *Global and Planetary Change*. – 2007. – Vol. 56. – P. 274–296.
- Spies, T.A. Gap characteristic and vegetation response in coniferous forests of the Pacific Northwest / T.A. Spies, J.F. Franklin // *Ecology*. – 1989. – Vol. 70. – №3. – P. 543–545.
- Spurr, S.H. Forestry ecology / S.H. Spurr, B.V. Barnes. –New York etc., 1980. – 687 p.
- Stern, M. Changes in composition and structure of a tropical dry forest following intermittent cattle grazing / M. Stern, M. Quesada, K.E. Stoner // *International Journal of Tropical Biology*. – 2002. – Vol. 50. – P.1021–1034.
- Tabacchi, E. Continuity and discontinuity of the riparian vegetation along a fluvial corridor / E. Tabacchi, A.M. Planty-Tabacchi, O. Décamps // *Landscape Ecology*. – 1990. – Vol. 5. – P. 9–20.
- Ter Braak, C. J. F. The analysis of vegetation–environment relationships by canonical correspondence analysis / C.J.F. Ter Braak // *Vegetatio*. – 1987. – Vol. 69 (1–3). –P. 69–77.
- Thapa, S. Impacts of resource extraction on forest structure and diversity in Bardia National Park, Nepal / S. Thapa, D.S. Chapman // *Forest Ecology and Management*. – 2010. – Vol. 259. – P. 641–649.
- Thom, R. Catastrophe theory: its present state and future perspectives / R. Thom, E.C. Zeeman // *Dynamical systems: Lecture notes in mathematics*. – 1975. – Vol. 468. – №4. – P. 366–389.

- Thomas, H.J.D. Traditional plant functional groups explain variation in economic but not size-related traits across the tundra biome / H.J.D.Thomas, I.H. Myers-Smith, A.D. Bjorkman, et al. // *Global Ecology and Biogeography*. – 2018; 00:1–18.
- Thomasius, H. Stabilität der natürlicher und künstlicher Waldkosysteme sowie der Beeinflussbarkeit durch forstliche Massnahmen / H. Thomasius // *Allg. Forstz.* – 1988. – Bd.42. – P. 1064–1068.
- Thomasius, H. Vorkommen, Bedeutung und Bewirtschaftung der Fichte in der DDR / H. Thomasius // *Forstw. Cbl.* – 1990. – Bd.109. – P.138–151.
- Thuiller, W. Patterns and uncertainties of species' range shifts under climate change / W. Thuiller // *Global Change Biology*. – 2004. – Vol. 10(12). – P. 2020–2027.
- Tsuyuzaki, S.; Narita, K.; Sawada, Y.; Kushida, K. The establishment patterns of tree seedlings are determined immediately after wildfire in a black spruce (*Picea mariana*) forest / S. Tsuyuzaki, K. Narita, Y. Sawada, K. Kushida // *Plant Ecology*. – 2014. – Vol. 215. – P. 327–337.
- Tucker, B.C. The use of matrix models to detect natural and pollution-induced forest gradients / B.C. Tucker, M. Anand // *Community Ecology*. – 2003. – Vol. 4(1). – P. 89–100.
- Turner, T. Facilitation of a successional mechanism in a rocky intertidal community / T. Turner // *Amer. Natur.* – 1983. – Vol. 121. – № 5. – P. 729–738.
- Ulanova, N.G. Competition between and within aspen (*Populus tremula*) and raspberry (*Rubus idaeus*) after clear-cutting: matrix models of structured populations dynamics / N.G. Ulanova, N.N. Zavlishin, D.O. Logofet // *Forest Science and Technology*. – 2007. – Vol. 3. – № 1. – P. 68–77.
- Usoltsev, V.A. Additive allometric model of single-tree biomass of betula sp. as a basis of regional taxation standards for Eurasia / V.A. Usoltsev, S.O.R. Shobairi, V.P. Chasovskikh // *Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental Sciences*. – 2018. – T. 20. – № 4. – P. 1131–1135.
- Van Nes, E.H. A strategy to improve the contribution of complex simulation models to ecological theory / E.H. Van Nes, M.M. Scheffer // *Ecological Modelling*. – 2005. – Vol. 185(2–4). – P. 153–164.
- Vivian-Smith G. Microtopographic heterogeneity and floristic diversity in experimental wetland communities / G. Vivian-Smith // *Journal of Ecology*. – 1997. – № 85. – P.71–82.
- Wagenknecht, E. Die Fichte im norddeutsche Flachland / E. Wagenknecht, G. Belitz. – Radebeul; Berlin, 1959. – 121 p.
- Wagenmakers, E.J. Transformation Invariant Stochastic Catastrophe Theory / E.J. Wagenmakers, P.C.M. Molenaar, R.P.P.P. Grasman, P.A.I. Hartelman, H.L.J. van der Maas // *Physica*. – 2005. – Vol. 211. – P. 263–276.
- Wang, X. Projected changes in daily fire spread across Canada over the next century / X. Wang, M.–A. Parisien, S.W. Taylor, J.N. Candau, D. Stralberg, G.A. Marshall, J.M. Little, M.D. Flannigan //

- Environmental Research Letters.– 2017. – Vol.12. – P. 187.
- Wang, X. Increasing frequency of extreme fire weather in Canada with climate change / X. Wang, D.K. Thompson, G.A. Marshall, C. Tymstra, R. Carr, M.D. Flannigan // Climatic Change. – 2015. – Vol. 130 – P. 573–586.
- Weimin, Xi Review of forest landscape models: types, methods, development and applications / Xi. Weimin, R.N. Coulson, A.G. Birt, Zong-Bo Shang, J.D. Waldron, C.W.Lafon, D.M. Cairns, M.D. Tchakerian, K.D.Klepzig // Acta Ecologica Sinica. – 2009. – Vol. 29 (1). – P. 69–78.
- Weltzin, J.F. Assessing the response of terrestrial ecosystems to potential changes in precipitation / J.F. Weltzin, M.E. Loik, S. Schwinning, D.G. Williams, P.A. Fay, B.M. Haddad, ... J.C. Zak // BioScience. – 2003. – Vol. 53. – P. 941–952.
- Westgate, M. J. Adaptive management of biological systems: a review / M.J. Westgate, G.E. Likens, D.B. Lindenmayer // Biological Conservation. – 2013. – Vol. 158. – P. 128–139.
- Westhoff, V.E. The Braun–Blanquet approach / V.E. Westhoff, E. van der. Maarel // Classification of plant communities / Ed. R.H. Whittaker // The Hague. – 1978. – P. 287–399.
- Whitman, E. Topoedaphic and Forest Controls on Post–Fire Vegetation Assemblies Are Modified by Fire History and Burn Severity in the Northwestern Canadian Boreal Forest // E. Whitman, M.–A. Parisien, D.K. Thompson, M.D. Flannigan // Forests. – 2018. – Vol.9. – P.151.
- Whitman, E. Variability and drivers of burn severity in the northwestern Canadian boreal forest / E. Whitman, M.–A. Parisien, D.K. Thompson, R.J. Hall, R.J. Skakun, M.D. Flannigan // Ecosphere. – 2018. Vol. 9. – №2.
- Whittaker, R.H. Communities and ecosystems / R.H. Whittaker. –New York: And ed, 1975. – 531p.
- Whittaker, R.H. Classification of natural communities / R.H. Whittaker // Bot. Rev. – 1962. – Vol. 28. – № 1. – 239 p.
- Wiens, J.A. Spatial scaling in ecology / J.A. Wiens // Functional Ecology. – 1989. – Vol. 3. – P. 385–397.
- Wintle, B. Utility of dynamic–landscape metapopulation models for sustainable forest management / B. Wintle, S. Bekessy, L. Venier, J. Pearce, R. Chisholm // Conservation Biology. – 2005. – Vol. 19(6). – P. 1930–1943.
- Wotton, B.M. Potential climate change impacts on fire intensity and key wildfire suppression thresholds in Canada / B.M. Wotton, M.D. Flannigan, G.A. Marshall // Environmental Research Letters. – 2017. – Vol. 12. – №9.
- Wotton, B.M. Forest fire occurrence and climate change in Canada / B.M. Wotton, C.A. Nock, M.D. Flannigan // Wildland Fire. – 2010. – Vol. 19. – P. 253–271.
- Wright, D.J. Catastrophe Theory in Management Forecasting and Decision Making / D.J. Wright // The Journal of the Operational Research Society. – 1983. – № 34 (10). – P. 935–942.



- Wu, Z. Variability after 15 Years of Vegetation Recovery in Natural Secondary Forest with Timber Harvesting at Different Intensities in Southeastern China: Community Diversity and Stability / Z. Wu, C. Zhou, X. Zhou, X. Hu, J. Gan // *Forests*. – 2018. – Vol. 9. – P. 40.
- Wulder, M.A. Forest fragmentation, structure, and age characteristics as a legacy of forest management / M.A. Wulder, J.C. Whitea, M.E. Andrewa, N.E. Seitz, & N.C. Coopsb // *Forest Ecology and Management*. – 2009. – Vol. 258(9). – P. 1938–1949. – URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2009.07.041>
- Yamamoto, S. Forest gap dynamics and tree regeneration / S. Yamamoto // *Journal of Forest Research*. – 2000. – № 5(4). – P.223–229.
- Yousefpour, R. A review of decision-making approaches to handle uncertainty and risk in adaptive forest management under climate change / R. Yousefpour, J.B. Jacobsen, B.J. Thorsen, H. Meilby, M. Hanewinkel, K. Oehler // *Forest Science*. – 2012. – Vol. 69. – P. 1–15.
- Zeeman, E.C. Catastrophe theory / E.C. Zeeman // *Scientific American*. – 1976. – April. – P. 65–83.
- Zetlaoui, M. Asymptotic distribution of density-dependent stage-grouped population dynamics models / M. Zetlaoui, N. Picard, A. Bar-Hen // *Acta Biotheor.* – 2008. – № 56 (1–2). – P. 137–155.
- Zhang, D. Costs of delayed reforestation and failure to reforest / D. Zhang // *New Forests*. – 2018. – P. 1–14.
- Zhao, D. A density-dependent matrix model for bottomland hardwood stands in the Lower Mississippi Alluvial Valley / D. Zhao, B. Borders, M. Wilson // *Ecological Modelling*. – 2005. – Vol. 184 (2–4). – P. 381–395.
- Zhou, M. Economic and ecological effects of diameter caps: A Markov decision model for Douglas-fir/western hemlock forests / M. Zhou, J. Buongiorno, J. Liang // *For. Sci.* – 2008. – № 54(4). P. 397–407.
- Zobel, M. The species pool concept as a framework for studying patterns of plant diversity / M. Zobel // *Journal of Vegetation Science*. – 2016. – № 27. – P. 8–18.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

**Приложение 1 – Комплекс признаков, описывающих экотоп  
(Фильрозе, 1958, 1966, 1967, 1972, 1983, 1986)**

**Лесорастительная провинция**

**Геоморфологический комплекс типов лесорастительных условий  
(почвообразующие породы)**

Определяет специфику почвообразующих пород  
(кислые или основные почвообразующие породы; суходолы и пойма крупных рек)

**Высотный пояс (флористический комплекс растительности)**

В гольцово-тундровом поясе древостои отсутствуют; в подгольцовом встречаются разреженные внебонитетные криволесья; в таежном поясе расположены основные массивы лесов, теплолюбивые древесные виды отсутствуют; в поясе темнохвойно-широколиственных лесов присутствуют в древостое, подросте или подлеске такие теплолюбивые виды дендрофлоры, как клен (*Acer platanoides* L.) и ильм (*Ulmus glabra* Huds.). Липа (*Tilia cordata* Mill.) – более холодостойка, и она не включена в число видов-маркеров неморального комплекса

**Группа типов лесорастительных условий (эдафический комплекс)**

выделяется по крупным формам рельефа, определяющим режим поверхностного и внутрипочвенного стока, характер увлажнения лесных участков и других ведущих экологических факторов. В обобщенном индексе группа типов отмечается арабскими цифрами, выставленными на второе место после цифры соответствующей высотному поясу

**Тип лесорастительных условий (тип местоположений)**

является основной единицей классификации, характеризующей условия среды отдельных типов леса. К одному типу отнесены покрытые лесом и потенциально лесные участки, близкие по положению и комплексу экологических факторов, определяющих лесорастительный эффект, т.е. потенциальную биологическую продуктивность типов леса. Типы лесорастительных условий обозначаются также арабскими цифрами и располагаются на третьем месте в общем индексе лесорастительных условий.

Поскольку рельеф во многом определяет особенности других компонентов среды типов леса, его характеристике в классификационных таблицах уделено больше внимания.

Одному типу лесорастительных условий соответствует один тип коренной растительности и несколько генетических линий развития производной растительности

**Приложение 2 – Классификация местоположений (Фильрозе, 1958, 1983, 1986)**

Группа типов местоположений	Характеристика
Класс А – дренированные участки	
I группа	<p>Участки с крайне неустойчивым водным режимом. Запасы влаги малы и быстро расходуются. Влажность почв всецело зависит от погодных условий и сильно колеблется; почвенные засухи – обычное явление. К ним относятся: скалы, скальные плиты, крутые и покатые склоны южной экспозиции с каменистыми почвами малой мощности – до 20-30 см. В группе преобладает процесс инфильтрации вод и их стока, интенсивен снос мелкозёма.</p>
II группа	<p>Участки с относительно устойчивым водным режимом, почвы средней мощности (до 40-50 см). Запасы влаги здесь хоть и больше, но всё же невелики: при длительном отсутствии дождей возможна засуха. Преобладают процессы транзита вод и минеральных частиц. Во вторую группу входят: каменистые поля, повышения и пологие склоны со щебнистыми почвами, а также каменистые и щебнистые крутые и покатые северные склоны, гривистые поля, покатые южные рыхлые склоны, слабо покатые южные рыхлые склоны.</p>
III группа	<p>Участки с устойчивым водным режимом: почвы мощные (более 50 см), преобладают процессы аккумуляции. Чаще всего встречаются в нижних элементах рельефа, но могут располагаться и на выравненных повышениях, обычных даже в горных регионах Южного Урала. К этой группе относятся плоские повышения, крутые склоны северных экспозиций, пологие склоны с мощными дренированными почвами, вогнутые склоны, дренированные понижения, дренированные долины речек и ручьев, покатые северные рыхлые склоны, пологие северные склоны и осушенные торфяники</p>
Класс Б – слабо дренированные и заболоченные участки	
IV группа	<p>Участки с периодическим переувлажнением почвогрунтов. Относятся сырые водоразделы, сырые склоны, сырые лога и поймы, сырые западины, сырые торфяники, сырые дражные поля и сырые галечники.</p>
V группа	<p>Участки с устойчивым или длительным переувлажнением почвогрунтов: мокрые водоразделы, мокрые склоны, мокрые лога и поймы, мокрые торфяники, мокрые западины, мокрая кайма озёр, мокрые дражные поля</p>

**Приложение 3 – Порядок обозначений для типа фитоценоза  
(Фильрозе, 1958, 1966, 1967, 1972, 1983, 1986)**



**Приложение 4 – Схема типов лесорастительных условий и характеристика коренных (условно-коренных) типов леса на стадиях  
спелости и перестойности Зауральской холмисто-предгорной провинции, южнотаежный лесорастительный округ  
(Колесников и др., 1973)**

Лесорастительные условия		Тип леса и его характеристика				
Рельеф, почва	Индекс	Тип леса, шифр	Древостой (состав, бони-тет, полнота)	Возобновление (состав, числен- ность подроста)	Подлесок (видовой состав, густота)	Напочвенный покров (покрытие, доминанты)
<b>Устойчиво сухие</b>						
Резко очерченные вершины возвышенностей, хорошо инсолированные крутые склоны с маломощными супесчаными и легкосуглинистыми буроземовидными горно-лесными почвами	311	Сосняк лишайни-ково-бруснични-ковый; С лиш. бр.	Сосновый с единичной березой и лиственницей; III (III–IV); неравномерный по полноте (0,5–0,7)	Обильное – сосна с единичной березой, лиственницей; куртинное	Неравномерный, с сомкнутостью до 0,2 из можжевельника, раkitника, с редким шиповником, рябиной	Неравномерный по составу и покрытию с преобладанием брусники, вейника, костяники, кошачьей лапки, земляники, осочки, грушанки, сон-травы, мха Шребера, клядоний
<b>Свежие, периодически сухие</b>						
Вершины и верхние половины склонов с мелкими горно-лесными слабо-оподзоленными легко-суглинистыми почвами	321	Сосняк бруснич-никовый; С бр.	Сосновый с примесью березы, иногда лиственницы; III (II– III); 0,6–0,8	Обильное – сосна с единичной лиственницей и березой	Пятнами обильный раkitник, редкий можжевельник, рябина, шиповник	Преобладает брусника, обильно вейник, костяника, земляника, мелкое разно-травье, редкие пятна зеленых мхов; покрытие 0,5–0,8
<b>Устойчиво свежие</b>						
Вершины спокойных возвышенностей, пологие склоны со щебнистыми горно-лесными дерново-подзолистыми суглинист-ыми почвами, реже над-пойменные террасы на су-песчаном древнем аллювии	331	Сосняк ягодни-ковый; С яг.	Сосновый с примесью лиственницы и березы; II– III; 0,8–0,9	Обильное – сосна с примесью березы, единичной лиственницы, ели, осины	Редкий, неравномерный – шиповник, рябина, можжевельник, раkitник, ива серая	Преобладают брусника, черника, вейник, лапчатка узик, костяника, земляника, розга золотая, ястребинка, подмаренник, редкими куртинами зеленые мхи; покрытие 0,6–0,7

Лесорастительные условия		Тип леса и его характеристика				
Рельеф, почва	Индекс	Тип леса, шифр	Древостой (состав, бонитет, полнота)	Возобновление (состав, численность подроста)	Подлесок (видовой состав, густота)	Напочвенный покров (покрытие, доминанты)
Верхние части придолин. склонов и вершины невысоких холмов с горно-лесными буроземовидными слабооподзоленными суглинистыми почвами, чаще на основных породах	332	Сосняк ягоdnико-во-липня-ковый; С яг. лп.	Сосновый с примесью березы, лиственницы, осины, реже ели и пихты, во II ярусе – липы; II; 0,7	Удовлетворительное – сосной; редкое – другими хвойными; обильное – лиственными, особенно липой	Куртинами обильно липа, редко шиповник, волчье лыко, жимолость голубая, калина, крушина, раkitник	Разнотравно-злаково-ягоdnиковый, неравномерно брусника, вейник, костяника, черника, сныть, фиалка, медуница, чина весенняя, саранка, орляк, овсяница – 0,8
Придолинные склоны с неглубокими дерново-подзолистыми суглинистыми почвами с щебнем горных пород	333	Ельник-сосняк зелено-мошничково-ягоdnиковый; Е-С зл. яг.	Сосновый с примесью или ярусом ели, единичной березы, лиственницы, пихты; III; 0,6–0,8	Обильное – сосна, реже ель; редкое – лиственница, береза, осина	Неравномерный – можжевельник, раkitник, рябина, малина, волчье лыко, жимолость, шиповник	Бруснично-чернично-костянично-зеленомошниковый с плауном, зимолубкой, кровохлебкой, щитовником Линнея – 0,7; после пожара повышается обилие вейника
Средние и нижние части пологих склонов с дерново-подзолистыми двучленными почвами (супесчаные на суглинистых породах)	334	Сосняк орляково-вый; С орл.	Сосновый с единичной лиственницей, осиной и березой, неравномерный; II – III; 0,6	Неравномерное, слабое или удовлетворительное – сосна; единичное – ель, лиственница, береза, осина	Единичный – жимолость, рябина, шиповник, липа, раkitник, ива козья	Покрытие 0,6–0,8, неравномерное; помимо орляка, обильны вейник, чина весенняя, сон-трава, земляника, черника, линнея, кровохлебка, рамишия, костяника; мхи развиты слабо
Невысокие водораздельные возвышенности, реже нижние части склонов к небольшим логам с дерново-слабоподзолистыми щебнистыми суглинистыми на основных горных породах	335	Сосняк травяно-липняково-ый; С тр. лп.	Сосновый с примесью березы, един. осины, липы, лиственницы, ели; липа местами образует нижний ярус; II; 0,5–0,7	Удовлетворительное – сосна, липа, хуже – береза, осина, иногда куртины подроста лиственницы	Обильна липа (сомкнутость до 0,5), единично жимолость, вольчье лыко, шиповник, рябина	Пестрый по видовому составу с покрытием 0,6; преобладают сныть, вейник, медуница, звездчатка, осот, дягиль, борец, костяника, какалия, чина весенняя; редкие латки зеленых мхов

Лесорастительные условия		Тип леса и его характеристика				
Рельеф, почва	Индекс	Тип леса, шифр	Древостой (состав, бони-тет, полнота)	Возобновление (состав, численность подроста)	Подлесок (видовой состав, густота)	Напочвенный покров (покрытие, доминанты)
Верхние части невысоких водораздельных возвышенностей с дерново-слабоподзолистыми тяжелосуглинистыми почвами	336	Ельник травяно-липняковый; Е тр. лп.	Елово-пихтовый с единичной сосной, липой, березой, осиной; II; среднеполнотный	Удовлетворительное – материнскими породами	Обильно липа, единично рябина, калина, жимо-лость голубая, ши-повник, ива серая	Неравномерный разнотравно-злаковый с обильной снытью, копытенем, бором, вейником, чиной Гмелиной, кисличкой, папоротниками
Ровные поверхности низких водоразделов, слабоприподнятые гривы среди болот с дерново-подзолистыми суглинками на покровных глинах	337	Ельник-сосняк травяной; Е–С тр.	Сосново-еловый с времен. преобладанием одной из пород, с един. березой, осиной; II – III; 0,7–0,8	Хорошее – материнскими породами	Единично рябина, шиповник, малина, можжевельник	Разнотравно-злаковый со снытью, чиной весенней и лесной, медуницей, борцом, вейником, бором, перловником; редко зеленые мхи
<b>Свежие, периодически влажные</b>						
Ровные слегка приподнятые участки водоразделов, пологие склоны с суглинистыми дерново-подзолистыми почвами на суглинистом элювии-делювии горных пород	341	Сосняк разнотравный; С тр.	Сосновый с примесью березы, лиственницы; III–II; 0,6–0,7	Неравномерное (от слабого до хорошего) – сосна, редкое – береза, лиственница, ель, пихта	Групповой – шиповник, рябина, жимолость голубая, волчье лыко, малина, можжевельник	Густой, пестрый по составу; вейник, сныть, герань, розга, володушка, чина весенняя, костяника, подмаренник, лапчатка, медуница, буквица, орляк, перловник, майник
Слегка приподнятые участки ровных водоразделов и депрессий с дерново-подзолистыми оглеенными суглинками на водоупоре из плотных пород	342	Сосняк с темнохвойным ярусом мшисто-черничниковый; С-Тх мш. чер.	Сложный сосновый с березой, един. лиственницей, осиной – в 1-м ярусе, еловый с пихтой и кедром – во 2-м; III; 0,8–0,9	Удовлетворительное неравномерное – ель и пихта, редкое – сосна, береза, кедр	Сомкнутость до 0,2; пятнами шиповник, малина, рябина, жимолость голубая и красная, редко ракитник, волчье лыко	На фоне зеленых мхов, с пятнами политриховых и сфагновых, обильно черника, кисличка, вейник ланцетный, костяника, плауны, хвощ лесной, щитовник Линнея, брусника



Лесорастительные условия		Тип леса и его характеристика				
Рельеф, почва	Индекс	Тип леса, шифр	Древостой (состав, бони-тет, полнота)	Возобновление (состав, численность подроста)	Подлесок (видовой состав, густота)	Напочвенный покров (покрытие, доминанты)
Дренированные нижние части придолинных склонов, невысокие плоские межболотные гривы с дерново-подзолистыми тяжелыми почвами с оглеением	343	Ельник травяно-зеленомошниковый, II-III;; Е тр. Зм.	Елово-пихтовый с единичным кедром, березой, сосной, лиственницей; II-III; среднеполнотный	Хорошее – лесообразующими породами, куртинное	Единично жимолость голубая, спирея, липа, шиповник, рябина, смородина красная	На фоне зеленых мхов неравномерно вейник, щитовник Линнея, костяника, кисличка, лесное разнотравье
<b>Влажные периодически сырые</b>						
Дренированные шлейфы придолинных склонов, днища ложбин с временными или небольшими постоянными водотоками с аккумулятивными дерново-глеевыми суглинистыми почвами	361	Сосняк-ельник высокоотравный (разнотравно высокоотравный); С-Е втр.	Сосновый с елью, редко пихтой, березой, осинкой; III; 0,5–0,6	Неравномерное удовлетворительное – сосна, береза, редко – кедр, ель, пихта, осина	Пятнами ольха серая, черемуха, смородина черная и красная, рябина, малина, ива козья	Высокотравный густой покров из таволги, крапивы, дудника, тростника, крупных папоротников, сныти, осоки, встречаются хмель, ломонос; пятна листостебельных мхов
Неглубокие ложбины и котловины на ровных водоразделах с дерново-подзолисто-глееватыми тяжелыми почвами	362	Ельник мшистый, Е мш.	Еловый с пихтой, кедром, единичной березой, осинкой; III-IV; 0,7–0,8	Хорошее – всеми лесообразующими породами	Единично ива козья, смородина красная, рябина, шиповник	Неравномерный ковер из зеленых, политриховых и сфагновых мхов; обильны кисличка, щитовник Линнея, бор, вейник тростниковидный, хвощ лесной
Плоские гривы среди болот и слабо дренированных междуречий, окраины болотных массивов с торфяно-глеевыми тяжелыми суглинистыми почвами	363	Ельник-кедровник хвощово-мшистый, Е-К хв. мш.	Елово-кедровый или с временным преобладанием одной из пород, с участием пихты, березы; III-IV; 0,7–0,9	Удовлетворительное – ель, кедр, слабое – береза, пихта, сосна	Единично шиповник иглистый и коричневый, смородина черная и красная, можжевельник, рябина, малина, ива	Хвощ лесной, пятнами черника, щитовник Линнея, костяника, влаголюбивое лесное разнотравье и злаки на фоне зеленых и сфагновых мхов

Лесорастительные условия		Тип леса и его характеристика				
Рельеф, почва	Индекс	Тип леса, шифр	Древостой (состав, бони-тет, полнота)	Возобновление (состав, численность подроста)	Подлесок (видовой состав, густота)	Напочвенный покров (покрытие, доминанты)
<b>Устойчиво-сырые</b>						
Слабо дренированные участки водоразделов, окраины болот, шлейфы пологих склонов с торфянисто-глеевыми тяжелыми почвами на горных породах	371	Сосняк сфагново-хвощовый, IV – V; С сф.хв.	Сосновый с постоянной примесью березы (до 2 ед), единичной елью, кедром; IV– V; 0,5–0,6	Удовлетворительное – сосна, береза, единичное – ель, кедр, осина	Редко – ива ушастая, рябина, шиповник	Обильно багульник и кассандра. На фоне сфагновых мхов и хвоща пятна пушицы, вейника ланцетного, морошки, по кочкам клюквы, ягодников
Заболоченные пойменные террасы, плохо дренированные котловинные понижения и западины с мощными торфянистыми почвами	372	Сосняк осоково-сфагновый, С ос. сф.	Сосновый с примесью березы, редко кедра; IV– Va; разреженный, низкopol-нотный (0,4–0,6)	Удовлетворительное – угнетенная сосна, береза, единичное – ель, и кедр	Единично – ива козья, смородина красная	По сфагновому ковру синузии осоки, пушицы, рассеяно вейник ланцетный, хвощ, вахта трехлистная, сабельник, по кочкам клюква. Обильно куртины кассандры, реже багульника
Речные и озерные поймы с высоким уровнем почвенно-грунтовых вод, с неглубокими торфяно-болотными почвами на аллювиальных наносах	373	Березняк осоково-сфагновый, Б ос. сф.	Редкостойный березняк с единичной сосной и елью по микроповышениям; IV– V; 0,3–0,5	Очень редкое – береза, сосна, ель	Редкие единичные экземпляры ивы, смородины красной, ольхи по микроповышениям	Ковер из сфагновых, политриховых и зеленых мхов по микроповышениям, по ровным участкам – осока, таволга, вейник ланцетный; общее покрытие 0,9
Заболоченные поймы небольших речек с аллювиальными дерново-иловатыми суглинистыми почвами при высоком уровне почвенно-грунтовых вод	374	Сероольшанник высокотравный, Ол втр.	Из ольхи серой с редкой березой, елью и пихтой; IV– V; 0,4–0,6	Очень редкое – ольха, береза, ель, пихта	Куртины из черемухи, ивы козьей, смородины красной и черной, малины	Неравномерный из таволги, крапивы, какалии, борца, вейника, папоротников, с латками мниумовых и зеленых мхов по повышениям

Лесорастительные условия		Тип леса и его характеристика				
Рельеф, почва	Индекс	Тип леса, шифр	Древостой (состав, бони-тет, полнота)	Возобновление (состав, численность подроста)	Подлесок (видовой состав, густота)	Напочвенный покров (покрытие, доминанты)
Бессточные котловины на плоских водоразделах и межувальные западины с поверхностно заболоченными торфянисто-подзолисто-глеевыми и торфянистыми почвами	375	Сосняк кустарничково-сфагновый, С кс. сф.	Сосняк с единичной березой; V– Vб; 0,5–0,7	Удовлетворительное – сосна, единичное – береза, редкое – кедр	Редко – ива, карликовая береза	Повсеместно багульник, кассандра. Сфагновый покров с пятнами кукушкина льна и зеленых мхов, по кочкам клюква, ягодники, морошка; пятнами вахта трехлистная, хвощ болотный, подбел, пушица
Слабо выраженные стоковые ложбины ровных водоразделов с торфянистыми почвами низинного или смешанного заболачивания	376	Ельник с кедром высокотравный, Е–К втр.	Елово-кедровый с временным преобладанием одной из пород; с пихтой, един. ольхой, березой, сосной; III–IV; среднеполнотный	Хорошее – всеми лесообразующими породами	Пятнами смородина черная, малина, шиповник, рябина	Высокотравный из таволги, крупных папоротников, хвоща, осота, вейника ланцетного, костяники хмелистной; по повышению кислотности, брусника, пятнами зеленые, политриховые и сфагновые мхи

**Приложение 5 – Морфология почв условно-коренных лесов Зауральской холмисто-предгорной провинции**

<b>Горизонт</b>	<b>Мощность, см</b>	<b>Описание</b>
<b>Периодически сухие местообитания</b>		
<b>Сосняки брусничниковые</b>		
A <sub>0</sub>	0–5	Лесная подстилка, сложена остатками мхов, слаборазложившегося опада (хвоя, ветки, шишки), слабо пронизана корнями растений напочвенного покрова.
A <sub>0</sub> A <sub>1</sub>	5–15	Грубогумусовый горизонт, темно-серый легкий суглинок мелкокомковатой структуры, рыхлый, густо пропитан корнями. Переход четкий.
BC	15–не более 40	Переходный горизонт к материнской породе. Светло-бурый легкий суглинок комковатой структуры с большой примесью крупного песка, рыхлый, сильно щебнистый горизонт, ниже которого идут крупные плиты лейкократового гранодиорита.
<b>Устойчиво свежие местообитания</b>		
<b>Сосняки ягодниковые</b>		
A <sub>0</sub>	0–3	Лесная подстилка, сложена остатками мхов, слаборазложившегося опада (хвоя, ветки, шишки, кора).
A <sub>0</sub> A <sub>1</sub>	3–10	Грубогумусовый горизонт, темно-серая с буроватым оттенком комковато-пылеватая супесь, сложение рыхлое, густо пропитан мелкими корнями. Переход заметный.
BC	10–30	Переходный горизонт к материнской породе. Бурая бесструктурная супесь, густо пропитанная корнями, сильно щебнистый горизонт, ниже которого идут крупные плиты лейкократового гранодиорита.
<b>Сосняки ягодниково-липняковые</b>		
A <sub>0</sub>	– 0–3	Сверху моховая синузия (мощность 7 см), слаборазложившиеся трава, опад (хвоя, шишки, ветки), внизу (1,5–3 см) темно-бурая более разложившаяся подстилка.
A <sub>1</sub>	3–15	Темно-серая тяжелая супесь пылевато-комковатой структуры, сложение рассыпчатое, густо пронизан корнями. Переход плавный с затеками.
B	15–35	Иллювиальный горизонт (вмывания). Бурая легкая супесь ореховатой структуры, сложение рассыпчатое, примесь камней среднего размера. Переход по цвету и структуре постепенный.
BC	35–50	Серый с буроватым оттенком песок, бесструктурный, сильно щебнистый горизонт. Ниже начинают повсеместно встречаться крупные плиты гранодиорита

Горизонт	Мощность, см	Описание
<b>Ельники-сосняки зеленомошниково-ягодниковые</b>		
A <sub>0</sub>	0–3	Мхи, слаборазложившийся опад (хвоя, ветки, шишки).
A <sub>1</sub>	3–13	Серый легкий суглинок мелкокомковатой структуры, сложение рыхлое, густо пропитан мелкими корнями. Переход размытый.
BC	13–55	Бурая бесструктурная супесь с крупным песком, плотный, немного корней, в нижней части много камней среднего размера.
<b>Сосняки орляковые</b>		
A <sub>0</sub>	0–3	Мхи, слаборазложившиеся трава и опад (хвоя, листья, ветки, шишки).
A <sub>1</sub>	3–14	Темно-серый тяжелый суглинок комковатой структуры, сложение рыхлое, густо пропитан мелкими корнями, сухой. Переход четкий с затеками.
B <sub>g</sub>	14–53	Бурый с пятнами оглеения средний суглинок крупнозернистой структуры с примесью крупного песка, сложение плотное, очень сухой, включения камней среднего размера и мелких корней. Переход размытый.
BC	53–75	Темно-бурый крупный песок с примесью глины., бесструктурный, сложение плотное, очень сухой. Ниже лежат плиты лейкократового гранодиорита.
<b>Сосняки травяно-липняковые</b>		
A <sub>0</sub>	0–5	Лесная подстилка темно-серого цвета, сложена остатками травы, слаборазложившегося опада (хвоя, листья, ветки, шишки).
A <sub>1</sub>	5–15	Темно-серый средний суглинок мелкокомковатой структуры, сложение рыхлое, густо пропитан мелкими корнями, сухой. Переход размытый.
B	15–25	Бурая тяжелая супесь, бесструктурный, примесь крупного песка и мелких камней, сложение плотное, сухой. Переход размытый.
BC	25–55	Светло-бурая глина с включениями крупного песка, структура мелкокомковатая, корней нет, сложение плотное. Ниже лежат плиты гранита.

Горизонт	Мощность, см	Описание
<b>Свежие, периодически влажные местообитания</b>		
<b>Сосняк разнотравный</b>		
A <sub>0</sub>	0–2	Слаборазложившаяся подстилка, сложена остатками травы, слаборазложившегося опада (хвоя, листья, ветки, кора).
A <sub>1</sub>	2–10	Темно-серая средняя супесь зернистой структуры, сложение рассыпчатое, густо переплетен мелкими корнями, углей мало. Переход очень размытый.
A <sub>2</sub> B	10–40	Оподзоленный горизонт (гумусово-иллювиальный горизонт), буровато-палевый средний суглинок комковатой структуры, примесь крупного песка, сложение плотное, корней мало, встречаются единичные камни среднего размера. Переход размытый.
B	40–80	Темно-бурый тяжелый суглинок с обилием мелких камней, бесструктурный, очень плотный. Переход размытый.
BC	80–90	Серовато-бурая тяжелая супесь, бесструктурный, много мелких камней. Ниже лежат плиты лейкократового гранодиорита.
<b>Сосняк с темнохвойным ярусом мшисто-черничниковый</b>		
A <sub>0</sub>	0–4	Мхи, слаборазложившийся опад (хвоя, листья).
A <sub>1g</sub>	4–13	Светло-серая супесь комковатой структуры, сложение рассыпчатое, очень много мелких камней, следы небольшого оглеения. Переход размытый.
BC	13–60	Бурый крупный песок с небольшой примесью глины, бесструктурный, очень много крупных камней и корней (около 40%), сложение рассыпчатое.
<b>Ельник травяно-зеленомошниковый</b>		
A <sub>0</sub>	0–4	Лесная подстилка, сложена слаборазложившимися травой и опадом (хвоя, листья, ветки).
A <sub>1</sub>	4–15	Светло-серый тяжелый суглинок зернистой структуры, сложение рассыпчатое, густо пропитан корнями, сухой. Переход сильно размыт.
A <sub>2</sub> B	15–35	Серовато-палевый тяжелый суглинок с примесью крупного песка, неясной плитчато-ореховатой структуры, есть мелкие корни, сухой, плотный. Переход размытый.
B	35–90	Бурый тяжелый суглинок ореховато-комковатой структуры, примесь мелких камней, корней нет, очень плотный. Переход размытый.
BC	90–120	Бурый песок, бесструктурный. Внизу лежат плиты лейкократового гранодиорита.

Горизонт	Мощность, см	Описание
<b>Слабо дренированные и заболоченные местообитания</b>		
<b>Сосняк-ельник высокотравный</b>		
A <sub>0</sub>	0-10	Мхи, слаборазложившийся опад (хвоя, листья).
A <sub>1</sub>	10-20	Темно-серая супесь мелкокомковатой структуры, сложение рассыпчатое, густо пропитан корнями. Переход размытый.
B	20-55	Серо-бурая супесь, бесструктурный, сложение рассыпчатое, корней становится меньше. Переход размытый.
BC	55- более 170	Бурый легкий суглинок призматической структуры, сложение плотное. Начинают встречаться камни среднего размера (пегматиты).
<b>Ельник-кедровник хвощево-мшистый</b>		
A <sub>0</sub>	0-6	Моховой очес.
A <sub>0</sub> <sup>T</sup>	6-12	Торфяно-олиготрофный горизонт серо-бурого цвета, слаборазложившийся мох.
A <sub>0</sub> <sup>III</sup>	12-35	Торфяно-перегнойный горизонт, темно-серый с бурым оттенком плохоразложившийся торф, сложение рыхлое, влажный, много корней, ветки, растительные остатки.
A <sub>0</sub> <sup>II</sup>	35-55	Перегнойный горизонт, черный сильно-разложившийся торф, влажный, немного корней.
B <sub>g</sub>	55-75	Иллювиально-глееватый горизонт, грязно-бурый с охристо-ржавыми пятнами оглеения тяжелый суглинок, мелкозернистой структуры, влажный, строение плотное.
BC <sub>g</sub>	больше 75 см	Более темный, чем предыдущий горизонт, тяжелый суглинок, оглеенный, влажный, бесструктурный.
<b>Сосняк сфагново-хвощовый</b>		
A <sub>0</sub>	0-3	Лесная подстилка, серый, слаборазложившиеся трава и опад (хвоя, листья), рыхлый.
A <sub>1</sub>	3-13	Темно-серый легкий суглинок пылевато-комковатой структуры, сложение рассыпчатое, есть угли. Переход размытый.
B	13-37	Темно-серая супесь, бесструктурный, примесь крупного песка, сложение рассыпчатое, есть немного углей. Переход подтеками.
BC <sub>g</sub>	37- 70	Серовато-бурый легкий суглинок ореховатой структуры, оглеенный, сложение плотное, наличие песка, углей мало.

**Приложение 6 - Результаты проверки статистической достоверности различий  
между условно-коренными лесами Среднего Урала по показателю видовой  
насыщенности травяно-кустарничкового яруса на основе HSD-теста**

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	С яг.лп.		1,000	0,999	0,000*	0,512	0,004*	0,011*	0,353	0,067	0,998	0,677	0,995	0,000*
2	С орл.	1,000		1,000	0,000*	0,872	0,038*	0,072	0,845	0,312	0,835	0,979	1,000	0,002*
3	С тр.лп.	0,999	1,000		0,000*	0,983	0,318	0,343	0,994	0,762	0,776	1,000	1,000	0,024*
4	С ргр.	0,000*	0,000*	0,000*		0,000*	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*	0,002*	0,000*	0,000*	0,000*
5	С-Гх мш. чер.	0,512	0,872	0,983	0,000*		1,000	0,999	1,000	1,000	0,081	1,000	0,994	0,682
6	С бр.	0,004*	0,038*	0,318	0,000*	1,000		1,000	0,736	1,000	0,000*	0,595	0,439	0,868
7	С яг.	0,011*	0,072	0,343	0,000*	0,999	1,000		0,770	1,000	0,000*	0,637	0,454	0,986
8	Е-С зм. яг.	0,353	0,845	0,994	0,000*	1,000	0,736	0,770		0,996	0,013*	1,000	0,999	0,068
9	Е тр. зм.	0,067	0,312	0,762	0,000*	1,000	1,000	1,000	0,996		0,001*	0,974	0,859	0,635
10	С-Е втр.	0,998	0,835	0,776	0,002*	0,081	0,000*	0,000*	0,013	0,001*		0,073	0,663	0,000*
11	Е-К хв. мш.	0,677	0,979	1,000	0,000*	1,000	0,595	0,637	1,000	0,974	0,073		1,000	0,048*
12	С сф.хв.	0,995	1,000	1,000	0,000*	0,994	0,439	0,454	0,999	0,859	0,663	1,000		0,039*
13	С кс. сф.	0,000*	0,002*	0,024*	0,000*	0,682	0,868	0,986	0,068	0,635	0,000*	0,048*	0,039*	

Примечание: \* отмечены статистически значимые различия на уровне значимость 0,05



**Приложение 7 - Результаты проверки статистической достоверности различий  
между условно-коренными лесами Среднего Урала по показателю проективного  
покрытия травяно-кустарничкового яруса на основе HSD-теста**

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	С яг.лп.		0,230	0,991	0,141	0,999	0,038*	1,000	0,111	0,254	1,000	0,842	0,988	0,878
2	С орл.	0,230		0,017*	1,000	0,980	0,000*	0,064	0,000*	1,000	0,604	0,994	0,015*	0,002*
3	С тр.лп.	0,991	0,017*		0,009*	0,745	0,871	1,000	0,973	0,018*	0,818	0,170	1,000	1,000
4	С ртр.	0,141	1,000	0,009*		0,932	0,000*	0,036*	0,000*	1,000	0,432	0,963	0,008*	0,001*
5	С-Тх мш. чер.	0,999	0,980	0,745	0,932		0,010*	0,968	0,027*	0,987	1,000	1,000	0,722	0,425
6	С бр.	0,038*	0,000*	0,871	0,000*	0,010		0,179	1,000	0,000*	0,002*	0,000*	0,891	0,979
7	С яг.	1,000	0,064	1,000	0,036	0,968	0,179		0,385	0,070*	0,992	0,476	1,000	0,990
8	Е-С зм. яг.	0,111	0,000*	0,973	0,000*	0,027	1,000	0,385		0,000*	0,007*	0,000*	0,979	0,999
9	Е тр. зм.	0,254	1,000	0,018*	1,000	0,987	0,000*	0,070	0,000*		0,649	0,997	0,016*	0,002*
10	С-Е втр.	1,000	0,604	0,818	0,432	1,000	0,002*	0,992	0,007*	0,649		0,995	0,794	0,440
11	Е-К хв. мш.	0,842	0,994	0,170	0,963	1,000	0,000*	0,476	0,000*	0,997	0,995		0,154	0,030*
12	С сф.хв.	0,988	0,015*	1,000	0,008*	0,722	0,891	1,000	0,979	0,016*	0,794	0,154		1,000
13	С кс. сф.	0,878	0,002*	1,000	0,001*	0,425	0,979	0,990	0,999	0,002*	0,440	0,030*	1,000	

Примечание: \* отмечены статистически значимые различия на уровне значимости 0,05

**Приложение 8 - Результаты проверки статистической достоверности различий  
между условно-коренными лесами Среднего Урала по показателю фитомассы  
травяно-кустарничкового яруса на основе HSD-теста**

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	С яг.лп.		0,104	1,000	0,995	0,032	1,000	0,121	0,873	0,227	0,998	1,000	1,000	1,000
2	С орл.	0,104		0,136	0,759	0,999	0,011*	1,000	0,000*	0,000*	0,003*	0,003*	0,027	0,431
3	С тр.лп.	1,000	0,136		0,991	0,041*	1,000	0,151	0,979	0,498	1,000	1,000	1,000	1,000
4	С ргр.	0,995	0,759	0,991		0,333	0,941	0,774	0,125	0,008*	0,606	0,673	0,845	0,995
5	С-Тх мш. чер.	0,032*	0,999	0,041*	0,333		0,005*	0,999	0,000*	0,000*	0,002*	0,002*	0,008*	0,168
6	С бр.	1,000	0,011*	1,000	0,941	0,005*		0,017*	0,822	0,131	0,999	1,000	1,000	1,000
7	С яг.	0,121	1,000	0,151	0,774	0,999	0,017*		0,000*	0,000*	0,005*	0,005*	0,032*	0,437
8	Е-С зм. яг.	0,873	0,000*	0,979	0,125	0,000*	0,822	0,000*		0,971	1,000	0,999	1,000	1,000
9	Е тр. зм.	0,227	0,000*	0,498	0,008*	0,000*	0,131	0,000*	0,971		0,835	0,632	0,880	0,970
10	С-Е втр.	0,998	0,003*	1,000	0,606	0,002*	0,999	0,005*	1,000	0,835		1,000	1,000	1,000
11	Е-К хв. мш.	1,000	0,003*	1,000	0,673	0,002*	1,000	0,005*	0,999	0,632	1,000		1,000	1,000
12	С сф.хв.	1,000	0,027*	1,000	0,845	0,008*	1,000	0,032*	1,000	0,880	1,000	1,000		1,000
13	С кс. сф.	1,000	0,431	1,000	0,995	0,168	1,000	0,437	1,000	0,970	1,000	1,000	1,000	

Примечание: \* отмечены статистически значимые различия на уровне значимость 0,05

**Приложение 9 – Результаты сравнительного анализа травяно-кустарничкового яруса вырубок в различных типах леса Среднего Урала на основе HSD-теста**

	С яг.лп.	С орл.	С тр.лп.	С ртр.	С-Тх мш. чер.	С бр.	С яг.
Видовая насыщенность на 1 м <sup>2</sup>							
С яг.лп.		0,5903	0,9993	0,5493	0,9950	0,0019*	0,9253
С орл.	0,5903		0,9455	0,0843	0,5895	0,0007*	1,0000
С тр.лп.	0,9993	0,9455		0,5832	0,9769	0,0209*	0,9958
С ртр.	0,5493	0,0843	0,5832		0,9971	0,6261	0,3431
С-Тх мш. чер.	0,9950	0,5895	0,9769	0,9971		0,5094	0,8373
С бр.	0,0019*	0,0007*	0,0209*	0,6261	0,5094		0,0156*
С яг.	0,9253	1,0000	0,9958	0,3431	0,8373	0,0156*	
Проективное покрытие, %							
С яг.лп.		0,9868	0,6540	0,3263	0,7058	0,1593	0,9997
С орл.	0,9869		0,9922	0,9546	0,9838	0,1757	1,0000
С тр.лп.	0,6541	0,9922		1,0000	1,0000	0,0260*	0,9828
С ртр.	0,3263	0,9546	1,0000		1,0000	0,0040*	0,9379
С-Тх мш. чер.	0,7059	0,9838	1,0000	1,0000		0,0633	0,9707
С бр.	0,1593	0,1757	0,0260*	0,0040*	0,0633		0,5181
С яг.	0,9998	1,0000	0,9828	0,9379	0,9707	0,5181	
Фитомасса, г/м <sup>2</sup> в абсолютно сухом состоянии							
С яг.лп.		0,8817	1,0000	0,2238	0,0872	0,0445*	0,9999
С орл.	0,8817		0,8977	0,0853	0,0315*	0,9366	0,9979
С тр.лп.	1,0000	0,8977		0,6935	0,2938	0,2043	0,9991
С ртр.	0,2238	0,0853	0,6935		0,9443	0,0007*	0,5268
С-Тх мш. чер.	0,0872	0,0315*	0,2938	0,9443		0,0009*	0,2103
С бр.	0,0445*	0,9366	0,2043	0,0007*	0,0009*		0,7469
С яг.	0,9999	0,9979	0,9991	0,5268	0,2103	0,7469	

Примечание: \* - различия статистически достоверны на уровне значимости 0,05

**Приложение 10 – Справка о внедрении результатов диссертационной работы в  
Мексике**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



Apartado Postal 41  
Linares, Nuevo León 67700  
México

Tel. +52(821)212-4251 Ext. 102  
Fax. +52(821)212-4251 Ext. 251  
E-mail: [humberto.gonzalezrd@uanl.edu.mx](mailto:humberto.gonzalezrd@uanl.edu.mx)

Linares, Nuevo Leon, Mexico

November 17, 2016

**TO WHOM IT MAY CONCERN:**

As a full time faculty member and researcher at the Faculty of Forest Sciences, Universidad Autónoma de Nuevo Leon (Autonomous University of Nuevo Leon), Nuevo Leon state, Mexico, I would like to let you know that during the last two years Natalya Sergeevna Ivanova, PhD, has been an active collaborator with us sharing academic and research experiences in regard to acting as Associate Chief Editor of the International Journal of Bioresource and Stress Management ([http://www.pphouse.org/pages.php?page\\_id=1&type=OEB](http://www.pphouse.org/pages.php?page_id=1&type=OEB)), where Dr Ratikanta Maiti, Ph.D., D.Sc. and myself, are part of the Editorial Board of this International Journal, which is located in Kolkata, West Bengal, India. Among other synergetic activities, Dr. Ivanova has also published research papers in the journal mentioned before, has participating as author of book and book chapters published in international recognized editorial houses. Examples of these research products and contributions are stated below as references:

**Book Chapter:**

Item	Details
Book title	Applied Biology of Woody Plants
Editorial house	American Academic Press.
Pages	367
Authors	Ratikanta Maiti R, Humberto González Rodríguez, Ch Aruna Kumari
Total Chapters	11 plus General Comments
Chapter Title (No 11)	CATASTROPHE THEORY
Author's Chapter	Natalya Sergeevna Ivanova
Pages	339-363
year	2016
City, State, Country	Salt Lake City, Utah, United States of America
ISBN	978-1-63181-786-1
Language	English

**Book:**

Item	Details
Book title	Autoecology and Ecophysiology of Woody Shrubs and Trees: Concepts and Applications
Editorial house	John Willey & Sons Ltd.
Pages	355
Authors	Maiti R., González Rodríguez H., Ivanova N.S.
Year	2016
City, Country	Oxford, UK
ISBN	9781119104445
Language	English

With the above comments provided, it is worth to mention that Dra Ivanova's collaboration in different directions has enhanced not only her international recognition for her research presence, but has also strengthened the International Journal Editorial Board and publications of research products in well-recognized international publishing houses. We do hope to continue with this collaboration for the time being.

Thus, according to the above mentioned I would like to take the opportunity to endorse and grant full recommendation to Dr. Ivanova for all her capabilities and for the further academic and research projects, both national and international, she is applying for. I feel confident that she will continue to succeed in her professional assigned duties. For all these reasons, I do offer this recommendation letter to Dr. Ivanova without reserve.

Yours sincerely,



Humberto González Rodríguez, Ph.D.  
Professor

*Перевод с английского и испанского языков на русский язык.*

*/Логотип/*

**АВТОНОМНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ НУЭВО-ЛЕОНА  
ФАКУЛЬТЕТ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА**

*/Логотип/*

А/я 41, Линарес, Нуэво-Леон 67700  
Мексика

Тел.: +52 (821) 212-4251 доб. 102

Факс: +52 (821) 212-4251 доб. 251

Эл. почта: [humberto.gonzalezrd@uanl.edu.mx](mailto:humberto.gonzalezrd@uanl.edu.mx)

Линарес, Нуэво-Леон, Мексика

17 ноября 2016 г.

Для предоставления по месту требования

Я, штатный преподаватель и научный сотрудник Факультета лесного хозяйства Автономного Университета Нуэво-Леона, штат Нуэво-Леон, Мексика, настоящим подтверждаю, что в течение последних двух лет Иванова Наталья Сергеевна активно сотрудничала с нами в рамках обмена опытом в академическом и исследовательском направлениях. Наталья Сергеевна выступала в качестве помощника главного редактора Международного журнала об управлении биоресурсами и стрессом (International Journal of Bioresource and Stress Management ([http://www.pphouse.org/pages.php?page\\_id=1&type=OEB](http://www.pphouse.org/pages.php?page_id=1&type=OEB))). Я и доктор Ратиканта Маити являемся членами редакционного совета этого международного журнала, который расположен в г. Калькутта, штат Западная Бенгалия, Индия. Среди прочего, в рамках такого сотрудничества г-жа Иванова публиковала свои исследовательские статьи в упомянутом ранее журнале, являлась соавтором книги и отдельных глав, которые были изданы общепризнанными международными издательствами. Далее в виде ссылок приведены примеры совместной работы и результатов исследований:

**Глава книги:**

<b>Параметр</b>	<b>Описание</b>
Название книги	Прикладная биология древесных растений (Applied Biology of Woody Plants)
Издательство	Американ Академик Пресс (American Academic Press).
Количество страниц	367
Авторы	Ратиканта Маити Р., Умберто Гонсалес Родригес, Ч. Аруна Кумари
Общее количество глав	11 и общие комментарии
Название главы (№ 11)	ТЕОРИЯ КАТАСТРОФ
Автор главы	Иванова Наталья Сергеевна
Страницы	339-363
Год	2016 г.
Город, штат, страна	Солт-Лейк-Сити, Юта, США
ISBN	978-1-63181-786-1
Язык	Английский

**Книга:**

Параметр	Описание
Название книги	Аутоэкология и экофизиология древесных кустарников и деревьев: концепции и применения (Autoecology and Ecophysiology of Woody Shrubs and Trees: Concepts and Applications)
Издательство	Джон Вилли энд Санс Лтд. (John Willey & Sons Ltd.)
Количество страниц	355
Авторы	Маити Р., Гонсалес Родригес У., Иванова Н. С.
Год	2016 г.
Город, штат, страна	Оксфорд, Великобритания
ISBN	9781119104445
Язык	Английский

Помимо всего прочего, следует отметить, что совместная работа с г-жой Ивановой в различных направлениях не только укрепила ее международное признание как ученого, но и усилила состав редакторского совета упомянутого международного журнала и поспособствовала публикации результатов исследований общепризнанными международными издательствами. Мы надеемся, что наше сотрудничество будет продолжаться долгое время.

На основании вышесказанного я хотел бы в полной мере рекомендовать г-жу Иванову как высококвалифицированного специалиста для участия в будущих академических и исследовательских проектах, как на национальном, так и на международном уровнях, на которое бы она претендовала. Я уверен, что Наталья Сергеевна продолжит свою успешную профессиональную деятельность. Таким образом, я безоговорочно даю свои рекомендации в отношении г-жи Ивановой, изложенные в настоящем письме.

С уважением,  
/Подпись/  
Умберто Гонсалес Родригес  
Профессор

Стр. 2 из 2

*Настоящий перевод с английского и испанского языков на русский язык выполнен мной, переводчиком Логиновым Виталием Вячеславовичем. Идентичность перевода подтверждаю.*

*Логинов*

*Виталий*

*Родригес*

*Иванова*

Российская Федерация  
город Екатеринбург Свердловской области  
Девятнадцатого апреля две тысячи девятнадцатого года.  
Я, Чащина Наталья Романовна, временно исполняющая обязанности  
нотариуса нотариального округа: город Екатеринбург Иовлевой Ольги  
Владимировны, свидетельствую подлинность подписи переводчика  
Логинова Виталия Вячеславовича.  
Подпись сделана в моем присутствии.  
Личность подписавшего документ установлена.  
Зарегистрировано в реестре: № *66/354-1166-2019-1-1325*  
Взыскано государственной пошлины (по тарифу): 100 руб.  
Уплачено за оказание услуг правового и технического характера: 540 руб.

*Чащина*

Н.Р. Чащина



Итого пронумеровано, прошнуровано  
и скреплено печатью 4 листа(-ов)  
(четыре) листа(-ов)  
И. о. нотариуса:

*Чащина*





**Приложение 11 – Справка о внедрении результатов диссертационной работы в  
Греции**

TERRA SYLVESTRIS NON GOVERMENTAL NOT FOR  
PROFIT ORGANIZATION

KALAMOS ISLAND, LEVKAS PERFECTURE

GREECE

POSTCODE: 31081

TAX COMPANY REGISTRATION NUMBER: 997234269

Tel: (+30)6973442192

E-mail: [contact@terrasylvestris.org](mailto:contact@terrasylvestris.org)

Website: [www.terrasylvestris.org](http://www.terrasylvestris.org)



**Protocol number : 012/ 15.11.2016**

**To: Irina V. Petrova, Director of Botanical Garden of Ural Branch of  
Russian Academy of Sciences**

**Subject : Contribution of Natalya Ivanova to our ongoing forest  
conservation and restoration work**

We originally approached Natalya with the suggestion for her to contribute to our forest conservation and restoration work going on in Kalamos island in Greece more than a year ago. The agreement involved the periodic consulting on an entirely voluntary basis on issues of forest ecology, management, conservation and restoration as well as modelling forest ecosystem dynamics for related issues in the context of the Kalamos and Kastos sustainable development project that this work is taking place.

The target areas where the restoration of our once present but now locally extinct *Abies cephalonica*-*Pinus Sylvestris* mountain forest ecosystem and fire protection of our *Pinus halepensis* dominated forest regenerating in the lowlands of the island and to contribute towards developing a locally adapted methodology to restore it.

Following agreement a highly fruitful collaboration was initiated which led to a better understanding of our situation in general for the aforementioned areas and significantly contributed in building solid action plans under actual field conditions in specific as verified in practice through observation by us. This collaboration still stands and is continuing at present producing the high quality output that it has done since its beginnings

Finally it is worth mentioning that her aforementioned contributions were highly relevant and novel and thereby brought a fresh approach to the issue that without her we most likely would not have.

Theodore Karfakis

Head of the board of directors of Terra Sylvestris non governmental organization

15 November 2016

*Перевод с английского языка на русский язык.*

Негосударственная некоммерческая организация «Терра Сильвестрис»

О. Каламос, периферийная единица Лефкас, Греция

Индекс: 31081

Налоговый регистрационный номер компании: 997234269

Тел.: (+30) 6973442192

Эл. почта: [contact@terrasylvestris.org](mailto:contact@terrasylvestris.org)

Сайт: [www.terrasylvestris.org](http://www.terrasylvestris.org)

*/Логотип/*

### **Протокол № 012/15.11.2016**

**Кому: Петровой Ирине В., директору Ботанического сада Уральского отделения  
Российской академии наук**

**Тема: Вклад Натальи Ивановой в нашу текущую работу по охране и восстановлению  
лесов**

Мы начали сотрудничество с Натальей более года назад, предложив ей поучаствовать в нашей работе по охране и восстановлению лесов, ведущейся на острове Каламос в Греции. Соглашение подразумевало под собой регулярные консультации на абсолютно добровольных началах по вопросам управления лесным хозяйством, экологии, охране и восстановлению лесов, а также моделированию динамики экосистемы леса по связанным аспектам в контексте проекта устойчивого экологически безопасного развития Каламоса и Кастоса, в рамках которого велась эта работа.

Ключевыми задачами были восстановление ранее существовавшей, а ныне исчезающей в данном регионе экосистемы горного леса, представленной пихтой кефалинийской (*Abies serphalonica*) и сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris*), защита от пожаров леса, формирующегося в низинах острова, где доминирующим видом является сосна алеппская (*Pinus halepensis*), а также разработка методологии по восстановлению лесов, адаптированной к местным условиям.

Соглашение привело к чрезвычайно плодотворному сотрудничеству, которое способствовало более глубокому пониманию общей картины, сложившейся в упомянутых областях, и в значительной мере – к формированию четких планов действий в соответствии с актуальными полевыми условиями, практическое доказательство эффективности которых мы могли наблюдать впоследствии. Мы продолжаем сотрудничество, и наша совместная работа все также дает высококачественные результаты, как и в самом начале.

В заключении стоит отметить, что вышеупомянутая работа была очень важна для нас, эти свежие идеи позволили нам по-новому взглянуть на проблему, что было бы невозможно без участия Натальи Сергеевны.

*/Подпись/*

Теодор Карфакис

Председатель Совета директоров некоммерческой организации «Терра Сильвестрис»

15 ноября 2016 г.

*Настоящий перевод с английского языка на русский язык выполнен мной, переводчиком  
Логиновым Виталием Вячеславовичем. Идентичность перевода подтверждаю.*

*Логинов*

*Виталий*

*Вячеславович*

*Л*

Российская Федерация  
город Екатеринбург Свердловской области  
Девятнадцатого апреля две тысячи девятнадцатого года.  
Я, Чащина Наталья Романовна, временно исполняющая обязанности  
нотариуса нотариального округа: город Екатеринбург Иовлевой Ольги  
Владимировны, свидетельствую подлинность подписи переводчика  
Логинова Виталия Вячеславовича.  
Подпись сделана в моем присутствии.  
Личность подписавшего документ установлена.  
Зарегистрировано в реестре: № *66/357 - 4166 - 0619 - 2 - 1924*  
Взыскано государственной пошлины (по тарифу): 100 руб.  
Уплачено за оказание услуг правового и технического характера: 540 руб.

*Чащина*

Н.Р. Чащина



Итого пронумеровано, прошнуровано  
и скреплено печатью 3 листа(-ов)  
(три) листа(-ов)

И. о. нотариуса:

*Чащина*



\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## Приложение 12 – Справка о внедрении результатов диссертационной работы в США



Wildland Resources Department

**Dr. Irina V. Petrova, Director**  
 Botanical Garden of the Urals  
 Branch of Russian Academy of Sciences  
 Yekaterinburg  
 620144 Russian Federation

February 6, 2019

Dear Prof. Petrova,

I am writing you at this time to commend the contribution of research results by Natalya Ivanova and encourage you to prioritize her aspen-related research in the Ural Mountain region.

In my current position as Director of the Western Aspen Alliance, I am beginning a new initiative to bring together prominent scientists contributing to aspen ecology knowledge around the northern hemisphere. This group, which we are calling the Aspen Conservation Consortium (ACC), is charged with elevating the importance of aspen in all realms, though specifically focused on their biodiversity benefits. After many suggestions from Czech and Finnish colleagues, I located Ms. Ivanova.

Natalya Ivanova obtained data on the structure of the forest stand, species diversity and productivity of subordinate tiers of aspen forests in the Ural Mountains of Russia. These data are important for understanding the regional manifestations of global processes of the dynamics of aspen ecosystems in connection with climate change and anthropogenic impact. Research results of Natalya Ivanova are now being used to write a world survey of aspen ecology.

Thank you for your attention to this request. While we are well aware of the many values of forest research—including all species—we are currently placing high priority in aspen ecosystems and the great biodiversity, globally, that they facilitate.

With kind regards from the Western Aspen Alliance!

Sincerely,

Dr. Paul C. Rogers, Director  
 Western Aspen Alliance  
 5230 Old Main Hill  
 Utah State University  
 Logan, Utah, USA 84322  
 (435)797-0194  
[p.rogers@usu.edu](mailto:p.rogers@usu.edu)



<https://western-aspen-alliance.org/>

*Перевод с английского языка на русский язык.*

*/Логотип/* Университет штата Юта

Факультет лесных ресурсов

**Д-ру Петровой Ирине В., Директору**  
Ботанического сада Уральского  
отделения Российской академии наук  
Екатеринбург  
620144 Российская Федерация

6 февраля 2019 г.

Уважаемая профессор Петрова!

Настоящим письмом я хотел бы высоко оценить результаты исследования Натальи Ивановой и убедить Вас внедрить ее исследовательскую работу, посвященную осиновым лесам, на территории Урала.

На настоящий момент я занимаю должность директора Западного альянса осиновых лесов. В рамках этой должности я начал новую инициативу, объединяющую выдающихся ученых и способствующую распространению знаний об экологии осинового леса по всему северному полушарию. Целью этой группы, которую мы называем «Консорциум по сохранению осиновых лесов», является повышение значимости осиновых лесов во всех сферах, особенно за счет преимуществ их биологического разнообразия. После того как финские и чешские коллеги неоднократно советовали мне связаться с г-жой Ивановой, я наконец обратился к ней.

Наталья Иванова получила данные о структуре лесных насаждений, разнообразии видов и продуктивности нижних ярусов осиновых лесов Уральских гор России. Эти данные важны для понимания региональных проявлений мировых процессов и динамики экосистем осиновых лесов в связи с климатическими изменениями и антропогенным воздействием. Результаты исследования Натальи Ивановой на данный момент используются в написании всемирного обзора экологии осиновых лесов.

Благодарю Вас за то, что уделили внимание этому письму. Несмотря на то, что мы прекрасно осведомлены о ценности исследования лесов, включающего самые различные виды, мы выбираем приоритетным направлением экосистемы осиновых лесов и величайшее биологическое разнообразие по всему миру, которому они способствуют.

С добрыми пожеланиями от Западного альянса осиновых лесов!

С уважением,  
*/Подпись/*

Д-р Пол Си. Роджерс, Директор  
Западный альянс осиновых лесов  
5230 Олд Мейн Хилл  
Университет штата Юта  
Логан, Юта, США 84322

(435) 797-0194  
[p.rogers@usu.edu](mailto:p.rogers@usu.edu)

<https://western-aspen-alliance.org/>

5230 Олд Мейн Хилл  
Логан, Юта 84322-5230  
Тел.: (435) 797-3219  
Факс: (435) 797-3796  
[www.cnr.usu.edu/wild](http://www.cnr.usu.edu/wild)

*Настоящий перевод с английского языка на русский язык выполнен мной, переводчиком  
Логиновым Виталием Вячеславовичем. Идентичность перевода подтверждаю.*

*Логинов*

*Виталий*

*Вячеслав*

*Виталий*

Российская Федерация  
 город Екатеринбург Свердловской области  
 Девятнадцатого апреля две тысячи девятнадцатого года.  
 Я, Чащина Наталья Романовна, временно исполняющая обязанности  
 нотариуса нотариального округа: город Екатеринбург Иовлевой Ольги  
 Владимировны, свидетельствую подлинность подписи переводчика  
 Логинова Виталия Вячеславовича.  
 Подпись сделана в моем присутствии.  
 Личность подписавшего документ установлена.  
 Зарегистрировано в реестре: № *66/357-н/66-2019-д-1223*  
 Взыскано государственной пошлины (по тарифу): 100 руб.  
 Уплачено за оказание услуг правового и технического характера: 540 руб.

*Чащина*

Н.Р. Чащина



Итого пронумеровано, прошнуровано  
 и скреплено печатью 3 листа(-ов)  
 (три) \_\_\_\_\_ листа(-ов)  
 И. о. нотариуса:

*Чащина*

