

На правах рукописи

КОНСТАНТИНОВ АРТЕМ ВАСИЛЬЕВИЧ

**АДАПТАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ
ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА**

**06.03.02 - Лесоведение, лесоводство, лесоустройство и лесная таксация
(биологические науки)**

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора биологических наук**

Воронеж – 2022

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

- Научный консультант: доктор биологических наук, профессор Матвеев Сергей Михайлович
- Официальные оппоненты: Мартынюк Александр Александрович, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, член-корреспондент РАН, ФБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства», директор;
- Романовская Анна Анатольевна, доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, ФГБУ «Институт глобального климата и экологии им. Ю.А. Израэля», директор;
- Ларионов Максим Викторович, доктор биологических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Научно-образовательная лаборатория «Перспективных технологий», ведущий научный сотрудник.
- Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук

Защита диссертации состоится «_30_» июня 2022 г. в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.281.01. при ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» по адресу: 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37, УЛК-1 ауд. 401.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (www.usfeu.ru).

Автореферат разослан «___» апреля 2022 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
канд. с.-х. наук, доцент

Магасумова
Альфия Гаптрауфовна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований. Согласно глобальным климатическим моделям, в конце XXI века температура поверхности Земли увеличится на 0,3...4,8°C в сравнении с периодом с 1986 по 2005 гг., самый большой рост ожидается на территории Северной Евразии (IPCC, 2013). Лесное хозяйство характеризуется крайней степенью уязвимости к прямому воздействию климатических и метеорологических факторов. Изменяющиеся климатические условия являются основой рассогласования межвидовых взаимодействий в экосистемах, изменений в продуктивности лесных сообществ, смещения границ лесорастительных зон, сдвигов в сроках наступления фенологических событий. Ущерб от лесных пожаров, вредных организмов и других неблагоприятных факторов значительно превышает величину общих расходов на охрану, защиту и воспроизводство лесов. Кроме того, на степень уязвимости лесного сектора к климатическим изменениям оказывает влияние множество экономических, социальных, технологических факторов. Анализ подобного комплекса неклиматических факторов позволяет оценить источники возникновения рисков нестабильности лесного хозяйства, способствовать укреплению потенциала для осуществления мер по смягчению и адаптации, в связи с чем тема исследования является крайне актуальной.

Степень разработанности темы исследований

Длительные изменения климатических условий, наиболее ярко проявившиеся в текущем столетии, были и остаются ключевым фактором, оказывающим прямое и косвенное влияние на состояние всех компонентов лесных экосистем, приводя в ряде случаев к их деградации и гибели древостоев на значительных площадях (Коломыйц, 2003, 2005, 2008 и др.; Gamache, Payette, 2005; Харук и др., 2005, 2007; Кашкаров, Поморцев, 2007; Soja et al., 2007; Wonan, 2008; Котляков, 2012; Сергиенко, Константинов, 2016; Семёнов и др., 2019 и др.).

Проблемы динамики состояния лесных экосистем Российской Федерации (РФ) в условиях климатических изменений текущего столетия в различных аспектах нашли отражение в работах Ю.П. Демакова (2000, 2008); Н.М. Чебаковой (2003, 2006); С.М. Матвеева (2003, 2005, 2017); А.В. Истомина (2005, 2009); А.Г. Миронова (2007); Р.М. Хантемирова (2008); С.Г. Шиятова (2009); Д.Г. Замолотчикова (2011, 2013, 2016 и др.); Э.С. Ивановой (2011); И.Н. Болотова и др. (2012); Э.А. Курбанова (2016), В.В. Рубцова, И.А. Уткиной (2017); С.В. Макара (2017, 2020) и многих других исследователей.

Цель и задачи исследований. Целью исследования является разработка теоретических положений адаптационной стратегии лесного хозяйства Российской Федерации к произошедшим и прогнозируемым изменениям климата, обоснование системы устойчивого управления лесными ресурсами в условиях климатической нестабильности.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи:**

- провести ретроспективный анализ динамики ключевых факторов, и критериев определяющих состояние лесов в модельных регионах (на основе экспериментальных данных и рядов длительных наблюдений по регионам РФ) за период 1961-2018 гг;
- раскрыть причинно-следственные связи, между климатическими изменениями, возрастающей антропогенной нагрузкой и состоянием лесных экосистем к насто-

ящему времени;

- сформировать методический подход и провести оценку адаптационного потенциала лесных экосистем модельных регионов РФ в условиях климатической нестабильности и антропогенного пресса;

- выявить наиболее и наименее устойчивые комплексы лесных экосистем регионов РФ на основе оценки их адаптационного потенциала;

- проследить многолетнюю сукцессионную динамику лесных экосистем как механизма реализации адаптационного потенциала в условиях климатических изменений и антропогенной нагрузки на экспериментальных объектах в Воронежской и Новгородской областях;

- разработать ретроспективную модель динамики состояния лесных экосистем регионов РФ на основе анализа их адаптационного потенциала;

- на основе сценарного подхода, разработать дифференцированные комплексы управленческих решений и мер хозяйственного воздействия адаптационной направленности для соответствующих лесных экосистем РФ.

Научная новизна и теоретическая значимость:

- представлены особенности временной и пространственной динамики комплексов лесных экосистем регионов РФ, различающихся зональными лесорастительными условиями, трендами в динамике климатических изменений и интенсивности антропогенной нагрузки;

- впервые раскрыты причинно-следственные связи между климатическими изменениями и динамикой состояния лесных экосистем за два 30-летних периода, по территориям 24 модельных регионов 7 федеральных округов РФ, выявлены приоритетные абиотические факторы, определяющие их уязвимость и критерии уязвимости;

- разработан авторский методический подход к комплексной оценке адаптационного потенциала лесных экосистем на основе индексов – индекса динамики абиотических факторов, определяющего условия потенциальной адаптивности лесных экосистем и индекса уязвимости – как показателя способности лесной экосистемы сохранять гомеостаз в условиях длительных накапливающихся изменений абиотических факторов и антропогенных нагрузок;

- впервые выполнена дифференцированная балльная индексная оценка адаптационного потенциала лесных экосистем через их уязвимость к комплексному влиянию абиотических факторов и антропогенных нагрузок;

- представлены результаты анализа многолетней сукцессионной динамики таксационных характеристик древостоев на экспериментальных объектах в Воронежской и Новгородской областях, в условиях климатических изменений и антропогенной нагрузки, как механизма реализации адаптационного потенциала лесных экосистем;

- разработана матричная модель позиционирования адаптационного потенциала отдельно взятой региональной лесной экосистемы;

- на основе метода кластеризации выявлены группы лесных экосистем регионов РФ наиболее уязвимые к климатическим изменениям;

- разработаны сценарии, включающие дифференцированные комплексы управленческих решений и лесохозяйственных мер реагирования в отношении адаптации лесных экосистем, реализуемые на уровне государственного и частного сек-

тора и направленные на сглаживание деструктивных процессов и минимизацию экономических ущербов в лесном хозяйстве регионов РФ.

Положения, выносимые на защиту.

1. Результаты оценки динамики выделенных абиотических факторов и критериев уязвимости комплексов лесных экосистем по 24-м регионам (субъектам) 7-и федеральных округов за два периода климатической нормы (по ВМО) 1961-1990 гг. и 1991-2018 гг., а также по 10-летиям.

2. Реакция комплексов лесных экосистем РФ на изменение абиотических факторов значительно различается по регионам и федеральным округам РФ. В ряде субъектов РФ происходят разнонаправленные изменения, что вызывает необходимость дифференцированного подхода к комплексу управленческих решений и лесохозяйственных мер при выборе стратегии лесоуправления.

3. Критические, с позиции интенсивности климатических изменений и адаптивных возможностей, региональные системы лесного хозяйства, дислоцированы в Центральной лесостепи, Якутии, Архангельской области, а также в Восточной Сибири.

4. Выделенные в результате реализации авторского подхода к оценке динамики абиотических факторов, определяющих уязвимость лесных экосистем РФ, 9 групп региональных кластеров, различаются уровнем адаптационного потенциала и требуют различных управленческих решений и лесохозяйственных мер.

5. По ключевым, интеграционным признакам, отражающим уровень адаптационного потенциала, региональные комплексы лесных экосистем объединяются в три характерных группы: а) стабильные, б) нестабильные, в) деградирующие, что позволило сформировать три прогнозных сценария развития состояния лесных экосистем.

6. Комплексы управленческих решений и лесохозяйственных мер для поддержания и усиления адаптационного потенциала лесных экосистем по укрупнённым территориальным объектам, включающим различные субъекты РФ, дифференцированные по трём сценариям.

Практическая значимость работы Реализованные в диссертации сценарные подходы к формированию комплексов управленческих решений и мер хозяйственного воздействия и установленные, по результатам оценки адаптационного потенциала, группы региональных лесных экосистем, соответствующие определённому сценарию, позволят минимизировать риски, оптимизировать трудозатраты, ресурсы, финансовые потоки системы лесного хозяйства РФ.

Степень достоверности и апробация результатов исследования.

Обоснованность выводов и практических рекомендаций подтверждается применением системного подхода и современных методических приемов исследований. Диссертационное исследование выполнено с использованием обширного фактического материала, репрезентативного на пространственных шкалах от отдельного древостоя до региона (субъекта РФ) федерального округа. Первичные данные получены как в результате проведенных работ на экспериментальных объектах, так и из открытых и ведомственных информационных источников и баз данных. При обработке и анализе данных применены либо стандартные, либо авторские, но уже апробированные методики, подходы и программное обеспечение. Основные теоретические поло-

жения и практические результаты исследований представлялись и обсуждались на международных (Воронеж, 2006; Санкт-Петербург, 2007, 2013; Великий Новгород, 2013; Тамбов 2016), всероссийских (Санкт-Петербург, 2006, 2006; Хабаровск, 2014; Москва, 2020) конференциях, форумах, семинарах.

Научно-исследовательские работы в части оценки адаптационного потенциала, а также разработки сценарного подхода в отношении лесных экосистем Российской Федерации в условиях изменения климата выполнены в рамках государственного задания «Проведение прикладных научных исследований» ФБУ «СПбНИИЛХ» (2014-2019 г.г.). Основные результаты научных исследований ежегодно заслушивались на заседаниях Ученого совета ФБУ «СПбНИИЛХ», г. Санкт-Петербург.

Личный вклад автора. Постановка цели и задач исследования, планирование и выполнение полевых экспериментов и теоретических исследований, создание опытных объектов, сбор, анализ, интерпретация экспериментальных данных (при участии сотрудников, аспирантов и студентов ВГЛТУ под руководством автора), а также их математическая обработка выполнены автором лично. Соискателю принадлежит обобщение полученных результатов и их публикация в научных изданиях, написание текста диссертации, формулировка выводов и практических рекомендаций. Работа представляет итог 14-летних исследований автора.

Публикации материалов исследований. По теме диссертации опубликована 51 печатная работа, в том числе: 6 – в изданиях, индексируемых в международных базах научного цитирования Web of Science и Scopus, 19 – в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 2 коллективных монографии. Зарегистрированы 2 программы для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 357 страницах и состоит из введения, 7 глав, заключения, библиографического списка, включающего 355 наименований, в том числе 65 на иностранном языке, включает 3 приложения на 101 странице.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность сотрудникам ВГЛТУ, СПбНИИЛХ, за помощь в организации и методической поддержке полевых исследований, предоставление архивных данных по ряду пробных площадей, а также Федеральному агентству лесного хозяйства за содействие в выполнении диссертационной работы и за предоставленные информационные материалы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Проблема адаптации лесов и лесной отрасли в условиях изменений климата и интенсивного антропогенного воздействия

Климатические изменения и их влияние на состояние лесных экосистем в последние десятилетия стали предметом пристального внимания исследователей, благодаря которым, к настоящему времени накоплен значительный научный потенциал в части влияния изменений температурного режима на режимы лесных пожаров (Груза, 2006; Золотокрылин, 2007; Блоков, 2010; Алексеев, 2013; Кокорин, 2013; Комарова, 2014; Малюков, 2014; Vajda, 2005; Kasischke, 2006; Girardin, 2008), частоту вспышек лесных вредителей (Добрынина, 1986; Маслов, 2010; Максимов, 2011; Клишина, 2015; Трофимов, 2016; Volney, 2007); имеются достоверные данные о влиянии количества осадков на породный состав и ареалы распространения лесов (Харук, 2005; Груза, 2006; Мелешко, 2006; Кухта, 2009; Акатов, 2009; Олссон, 2011; Бардин,

2013; Григорьев, 2013; Сергиенко, 2015; Kang, 2006; Grigoriev, 2009; Kullman, 2009); антропогенных воздействий на продуктивность и состояние древесных пород (Кобак, 2002; Коломыц, 2003; Прохоров, 2004; Писаренко, 2006; Хантемиров, 2008; Шиятов, 2009; Брюханов, 2009; Замолодчиков, 2013; Петин, 2017; Бурданова, 2018; Немцев, 2018).

Результатом воздействий изменений климата на устойчивость лесных экосистем является выявление уязвимости и рисков в исследуемой сфере, при этом понимание причинно-следственных связей между факторами воздействия и результатом является основой для выработки стратегии, которая позволила бы в перспективе избежать негативных последствий климатических изменений как в лесных экосистемах, так и в лесном хозяйстве (Королева, Константинов, 2016).

В сочетании с возрастающей антропогенной нагрузкой, изменения климата оказывают существенное влияние на состояние лесных экосистем, включая рост и продуктивность деревьев, структуру лесов и их ареал, и также на распространение инвазивных видов и исчезновение коренных. Факторы климатического характера, взаимодействуя с антропогенными, имеют различные эффекты и выступают как в роли стабилизирующих, так и дестабилизирующих.

Оценка уязвимости региональных лесных экосистем (РЛС) – необходимый инструмент, который определяет эффективность действий по адаптации к изменениям климата. Для лесных экосистем России необходимо формирование методологического подхода к адаптации, объединяющего концепции устойчивости и адаптации лесных экосистем, технологии лесного хозяйства и управленческие решения направленные на снижение уязвимости лесов к изменениям климата. Комплексные исследования на единой методологической основе в рамках регионов страны могут обеспечить решение проблемы уязвимости лесов. В целях адаптации лесов к изменениям климата необходимо комплексное исследование характера и тенденций изменений не только метеорологических параметров, но их влияния на состояние и продуктивность лесных экосистем.

Глава 2. Методы и объекты исследований

2.1. Методы исследований

Исследования выполнены с использованием общепринятых методик (Сукачев, Зонн, 1961; Сукачев, Дылис, 1966; ОСТ 56-69-83, 1984; Гусев, 2004) с дополнениями и изменениями, описанными в авторской методике оценки адаптационного потенциала лесных экосистем. Для оценки динамики показателей рассчитывались их средние значения (М) по тридцатилетиям, десятилетиям и двум последним пятилетиям. Для обработки первичных материалов использованы пакеты программного обеспечения (Statistica, Excel), позволившие провести корреляционный, регрессионный, дисперсионный, кластерный анализы общепринятыми методами математической статистики: методом статистического наблюдения, сводки и группировки данных, выборочным методом, рядами динамики (Серебренников, Первозванский, 1965; Дрейпер, Смит, 1973; Кендалл, Стьюарт, 1976; Дюран, Одел, 1977; Бриллинджер, 1980; Афифи, Эйзен, 1982; Журбенко, 1982; Демиденко, 1989; Факторный..., 1989).

Для оценки адаптационного потенциала РЛС разработана авторская методика, алгоритм действия которой представлен на рисунке 1.

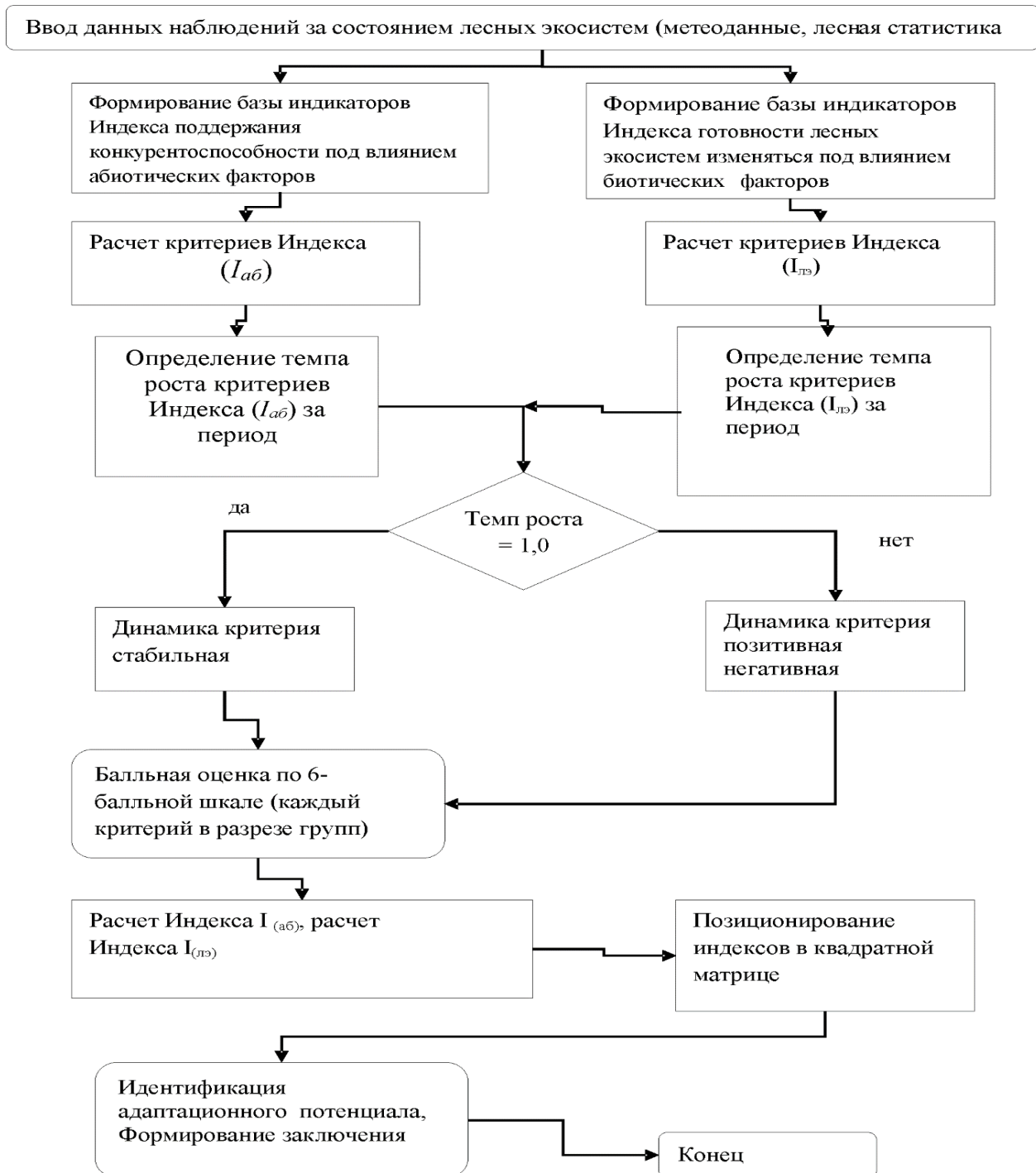


Рисунок 1 – Алгоритм оценки адаптационного потенциала лесных экосистем

Методика базируется на двух индексах. Индекс динамики абиотических факторов (I_{af}), отражает климатические условия потенциальной адаптации лесных экосистем. В качестве критериев выступают: средняя годовая температура воздуха - I_{af1} , сумма осадков за год - I_{af2} , средняя годовая относительная влажность - I_{af3} , годовое количество опасных метеорологических явлений - I_{af4} , средняя высота снежного покрова - I_{af5} , годовое количество лесных пожаров - I_{af6} . Индекс уязвимости РЛС ($I_{лэ}$) отражает подверженность лесной экосистемы неблагоприятным последствиям изменения климата. В качестве критериев используются: лесистость - $I_{лэ1}$, площадь лесных

насаждений погибших под воздействием болезней, вредителей - $I_{лэ2}$ лесных пожаров - $I_{лэ3}$, запас спелых и перестойных насаждений - $I_{лэ4}$. Для оценки уровня адаптационного потенциала используется метод шкалирования.

Динамика критерия устанавливается с градацией: стабильная (в пределах допустимой нормы отклонений - 1 балл); позитивная (имеющая плюсовую динамику - 0 баллов); негативная (имеющая минусовую динамику - 0 баллов). Уровень адаптационного потенциала определяется суммой баллов, при этом используется квадратная матрица, в которой адаптационному потенциалу отдельно взятой РЛС соответствует одна из зон квадратной матрицы. Принадлежность отдельно взятого комплекса РЛС к той или иной зоне квадратной матрицы устанавливается на основании следующей оценочной шкалы: АП₁ - 0 баллов, АП₂ - 1-2 балла, АП₄ - 3-4 балла, АП₃ - 5 баллов, АП₅ - 6 баллов, АП₇ - 7 баллов, АП₆ - 8 баллов, АП₈ - 9-10 баллов, АП₉ - 11-12 баллов. Такой подход позволяет позиционировать РЛС в рамках матрицы присваивая адаптационному потенциалу статус: «стабильная РЛС», высокий уровень адаптационного потенциала (матрица: АП₁, АП₂, АП₄); «нестабильная РЛС», средний (потенциально опасный) уровень адаптационного потенциала (матрица: АП₃, АП₅, АП₇); «деградирующая РЛС», низкий или отсутствующий уровень адаптационного потенциала (матрица: АП₆, АП₈, АП₉).

2.2. Характеристика объектов исследования

В качестве модельных выбраны лесные экосистемы 24-х субъектов Российской Федерации в 7-и федеральных округах:

- Северо-Западный федеральный округ: Архангельская область (АО); Ленинградская область (ЛО); Республика Карелия (РКа); Республика Коми (РКо); Ненецкий автономный округ (НАО); Новгородская область (НВО);

- Центральный федеральный округ: Брянская область (БО); Воронежская область (ВО);

- Южный федеральный округ: Ростовская область (РО);

- Приволжский федеральный округ: Нижегородская область (НО);

- Уральский федеральный округ: Тюменская область (ТО); Ханты-Мансийский автономный округ - Югра (ХМО);

- Сибирский федеральный округ: Забайкальский край (ЗК); Иркутская область (ИО); Омская область (ОО); Алтайский край (АК); Красноярский край (КрК);

- Дальневосточный федеральный округ: Республика Саха (Якутия) (РС); Камчатский край (КК); Магаданская область (МО); Хабаровский край (ХК); Сахалинская область (СО); Приморский край (ПК); Амурская область (АМО).

Подбор модельных регионов обусловлен лесорастительным районированием. Представленные в исследовании РЛС значительно различаются в экологическом и лесоводственно-типологическом отношении, но их объединяют две характерные черты: повышенная уязвимость к изменениям климата и возрастающая антропогенная нагрузка. В каждом районе исследованиями охвачены насаждения, соответствующие решаемым задачам и позволяющие благодаря природному разнообразию лесных биогеоценозов сформировать целостное представление об уровне изменчивости и уязвимости модельных объектов.

Объект исследования № 1 (Новгородская область) расположен на территории

Мясноборского участкового лесничества Новгородского лесничества, общей площадью 35655 га (лесной участок ОАО «Акрон»). Основные таксационные показатели по пробным площадям на год последнего учета (2018) приводятся в таблице 1. Для целей исследования проведены повторные учеты на постоянных пробных площадях, заложенных ранее различными научно-исследовательскими организациями.

Таблица 1 – Таксационная характеристика постоянных пробных площадей

№ ПП	Кв. / выд.	Состав	А, лет	Бо-нитет	D ср, см	h ср, м	Полнота	ГЛ У	М, м ³ /га
Новгородская область Мясноборское лесничество									
1ЛТА	110/-	6С4Б+Е	80	III	21,2	18,2	0,61	В ₄	190
2ЛТА	111/-	6С2Б2Е	100	IV	21,1	18,2	0,58	В ₄	162
3ЛТА	112/-	4ЕЗБ2Олс1Ос	100	III	26,4	20,3	0,45	С ₄	122
4ЛТА	113/-	7Е2Б1С	140	IV	27,3	21,7	0,52	В ₄	164
5ЛТА	114/-	4С4Б1Олс1Ос+Е	80	III	22,5	19,9	0,64	В ₄	173
1 ВНИИЛМ	115/-	6Олс3Б1Ос+Е	80	III	22,6	20,1	0,53	С ₄	86
2 ВНИИЛМ	116/-	2Б2Е2Олс+Ос	110	III	25,4	22,2	0,33	С ₄	105
3 ВНИИЛМ	117/-	7Б3Ос+Е+Олс	90	II	34,2	24,5	0,2	Д ₃	63
1 ЛГПИ	118/-	4Б3Олс3Ос+Е	75	II	24,1	20,2	0,34	С ₄	98
2 ЛГПИ	119/-	5Б3Е1Ос+1Лп+Олс	70	II	25,8	19,9	0,49	С ₄	146
5 ЛГПИ	121/-	8С2Б+Е+Олс	65	III	17,9	16,7	0,66	В ₄	235
Воронежская область									
Воронежская нагорная дубрава (УОЛ ВГЛУ)									
1	49/3	4ДНП2ОС2Лп1КЛО1Яо	100	II	31,8	23,8	0,8	С ₂ Д	432
2	52/3	7ДНП2Лп1Ос+КлО	135	II	44,2	26,2	0,6	Д ₂	338
3	52/1	1ДНН7Лп2КлО+Ос	98	III	27,8	22,6	0,93	С ₂ Д	324
4	51/46	5ДНН3ЛП1ЯОВ1КЛО	100	II	30	30	0,85	Д ₂	340
5	52/5	6ЛП3ДНП1КЛО+ЯО	75	III	23,4	24,1	0,7	С ₂ Д	280
Воронежский государственный природный биосферный заповедник									
6	507/1 1	7ДНП2Лп1КлО+Ос	127	II	40,5	26,2	0,9	С ₂ Д	358
7	487/1 9	3ДНП4Лп2Ос1КлО	127	II	40,2	26,7	0,7	С ₂ Д	205
8	507/5	4О4КлОс2Лп+ДНН	120	III	24,1	22	0,75	С ₂ Д	278
9	507/1 8	5ДНП2Лп2КлО1Ос	120	II	40,2	27	0,94	Д ₂	375
Теллермановская дубрава									
10	19/11	5ДНП3КлО2Лп+Ос+Б	126	Ia	60,1	32,2	0,54	Д ₂	246
11	18/1	4ДНП3КлО2Лп1Б+Ил	82	Ia	40	30,2	0,72	Д ₂	272
12	18/7	6Ос1ДНП1Лп2КлО	83	Ia	36,2	30,2	0,84	Д ₂	430
13	11/11	2ДНП6КлО1Лп1Ос	103	Ia	47,4	34	0,64	Д ₂	250
Хопёрский государственный природный заповедник									
24	72/8	4ДНП1Яо4КлО1Ос	132	Ia	50,1	36	0,9	Д ₂	402
25	71/17	3Яо4ДНП3КлО	122	Ia	35	35	0,82	Д ₂	330
26	73/6	5ДНП1Яо3КлО1Ос	132	Ia	54,6	36	0,92	Д ₂	446

№ ПП	Кв. / выд.	Состав	А, лет	Бо-ни-тет	Д ср, см	h ср, м	Пол-нота	ТЛ У	М, м ³ /га
27	72/9	3ДНПЗЯо4КлО	102	I	36,3	32	0,82	Д ₂	410
Шипов лес									
28	33/1	4ДНПЗЛп2КлО1Яо	125	I	48	33,5	0,8	Д ₂	350
29	34/1	5ДНП2КлО2Лп1Яо	105	I	44,1	32	0,6	Д ₂	280
30	15/10	5ДНПЗЛп2КлО	115	I	55	32	0,9	Д ₂	490
31	31/2	4ДНПЗКлО2Лп1Гш	75	II	37,4	27,2	0,6	Д ₂	240
32	30/2	7ДНП2КлО1Гш+Лп	80	I	37,2	27,4	0,65	Д ₂	345
33	50/1	5ДНП2КлО2Лп1Яо	105	I	40,1	28	0,7	Д ₂	284
34	36/16	4КлО3ДН2Яо 1Лп	100	I	26,3	24,5	0,65	Д ₂	250
35	35/15	3Яо3Лп2ДНП1КлО1Ил	55	I	19,9	23	0,83	Д ₂	277
36	102/4	4КлО3ДНП2Яо1Ил+Лп+Гш	120	Ia	26,3	26	0,6	Д ₂	270
37	45/3	6ДНП1Яо2КлО1Грш+Лп	95	I	40,2	30,2	0,65	Д ₂	275

ППП №№1, 2, 3, 4 и 5ЛТА заложены в 1985 году Ленинградской лесотехнической академией им. С.М. Кирова (Соловьёв, Тарасов, при участии Никонова, 1991); №№1, 2, 3 ВНИИЛМ (В) заложены в 1983 году Всесоюзным научно-исследовательским институтом лесоводства и механизации лесного хозяйства (Сердюкова, Мартынюк, 1985); №№1, 2, 5 ЛГПИ – в 1985-1986 годах Ленинградским педагогическим институтом им. А.И. Герцена (Дыренков, Савицкая, при участии Никонова, 1988). Выбранные для исследования объекты наиболее полно отражают состояние лесного растительного покрова на северо-западном градиенте направления ветров. В 2005 и позднее в 2018 году постоянные пробные площади были обновлены в натуре в соответствии с общепринятыми методами (Третьяков, 1957; ОСТ 56-69-83; Ярмишко, 1997).

Объект исследования № 2 – ППП расположены на территории наиболее крупных лесных массивов Воронежской области: в Воронежской нагорной дубраве, Воронежском заповеднике, Теллермановской дубраве, Хопёрском заповеднике, Шиповом лесу.

Для целей настоящего исследования в насаждениях были проведены повторные учеты на ППП, заложенных ранее сотрудниками лесного факультета ВГЛТУ и исследованных в разные периоды учеными различных научно-образовательных организаций.

Для каждого объекта исследований рассчитывались такие характеристики, как площадь лесных экосистем, площадь нарушенных лесов (по состоянию) за последние пять лет, доля хвойных, лиственных и смешанных лесов, а также выполнялись расчеты индексов адаптационного потенциала, согласно разработанной нами методике.

Глава 3. Комплекс абиотических факторов, определяющих состояние лесных экосистем

Получены достоверные различия, характеризующие изменение основных климатических характеристик в разрезе региональных лесных экосистем России в период 1966-2018 годов. Среди них средняя температура, влажность воздуха, высота снежного покрова, количество атмосферных осадков (табл. 2).

Таблица 2 – Статистики абиотических факторов региональных лесных экосистем (среднегодовая температура и среднегодовое количество осадков)

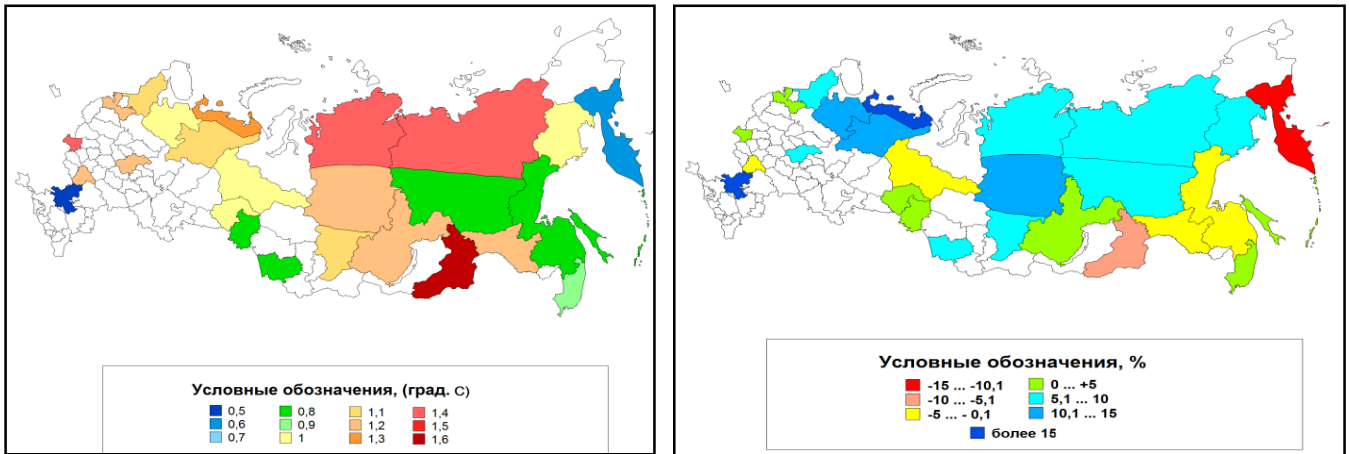
Регион, опорная точка	Абиотические факторы					
	Среднегодовая температура, С			Среднегодовое количество осадков, мм		
	1±m	2±m	t	1±m	2±m	t
АО	0,8±0,24	2,8±0,15	4,45	546,8±15,6	634,7±40,8	2,47
ЛО	5,0±0,21	6,9±0,27	5,23	645,1±14,0	668,3±71,5	1,5
НвО	5,2±0,2	7,2±0,29	4,46	725,5±13,5	732,5±46,8	2,53
РКа	2,5±0,22	4,3±0,25	4,33	572,1±19,1	585,9±54,4	1,04
РКо	0,6±0,23	2,2±0,21	4,95	549,1±17,8	712,4±25,7	3,23
НАО	-3,8±0,28	-1,3±0,46	4,29	432,8±17,6	498,3±27,8	2,24
БО	5,2±0,20	7,2±0,19	7,87	648,1±19,7	547,2±50,0	0,46
ВО	6,1±0,20	8,1±0,18	7,56	588,4±21,7	593,6±57,9	0,10
РО	9,7±0,17	11,0±0,16	4,86	504,0±24,0	632,4±61,1	1,76
НО	4,0±0,19	5,7±0,18	6,82	630,0±20,0	669,5±46,7	0,97
ТО	1,3±0,21	2,5±0,23	3,87	473,4±14,2	469,3±27,7	1,29
ХМО	-1,5±0,24	-0,1±0,42	2,46	553,1±18,3	569,6±72,1	0,53
ЗК	-2,6±0,14	-0,2±0,15	5,49	352,0±19,8	290,8±18,0	1,04
ИО	0,0±0,14	1,7±0,38	3,28	464,4±15,6	439,6±40,6	1,18
ОО	1,4±0,21	2,5±0,24	2,73	399,4±14,6	429,2±34,6	0,62
АК	2,0±0,20	2,9±0,45	1,08	415,9±14,7	487,7±15,9	1,43
КрК	-13,3±0,22	-10,8±0,23	8,02	263,6±9,2	311,3±22,0	1,16
РС	-15,3±0,21	-13,1±0,34	6,03	176,3±8,6	213,5±24,1	1,07
КК	2,4±0,11	3,5±0,24	5,84	1333,1±55,2	1235,2±125,6	1,55
МО	-3,3±0,13	-1,5±0,42	5,18	544,1±23,7	631,1±41,9	2,38
ХК	1,8±0,15	2,8±0,18	4,53	686,2±28,1	772,6±37,4	2,52
СО	2,3±0,13	3,3±0,25	5,41	853,4±32,2	848,8±57,0	1,67
ПК	4,2±0,12	5,4±0,13	3,66	817,8±44,01	897,6±93,48	0,86
АМО	0,7±0,18	2,3±0,26	4,5	567,1±20,4	499,5±45,9	0,8

Примечание: 1±m – среднегодовое значение фактора с ошибкой среднего за период с 1966 по 1990 гг. (базовый); 2±m - среднегодовое значение фактора с ошибкой среднего за период с 2014 по 2019 гг., t - достоверность различий средних значений за анализируемый период с 1996 по 2019 гг.

Во всех исследуемых регионах Российской Федерации прослеживается устойчивый тренд к повышению среднегодовых температур в период 1991-2018 гг. по сравнению с периодом 1966-1990 гг.

При сравнении среднегодовых температур периода 2009-2018 гг. с периодом 1966-1990 гг. установлена достоверность различий для 87% исследуемых регионов, максимальный уровень различий в температурах имеет место в Забайкальском крае. При сравнении среднегодового количества осадков в разрезе периодов достоверность различий зафиксирована для Архангельской области, Республике Коми, Ненецкого автономного округа, Брянской, Ростовской Архангельской, Новгородской областей, Красноярского и Хабаровского краев. Выявленная динамика изменений среднегодового количества осадков носит разнонаправленный характер.

На территории Российской Федерации прослеживается устойчивый тренд к повышению среднегодовых температур, а интервал после 1971 года является периодом наибольшего потепления (рис. 2).



Изменение среднегодовых температур в регионах РФ (1991-2018 гг.) по отношению к периоду (1961-1990 гг.)

Изменение количества осадков в регионах РФ (1991-2018 гг.) по отношению к периоду (1961-1990 гг.)

Рисунок 2 – Достоверное превышение среднегодовых температур и количества осадков в регионах РФ по отношению к эталонному периоду (разработано автором)

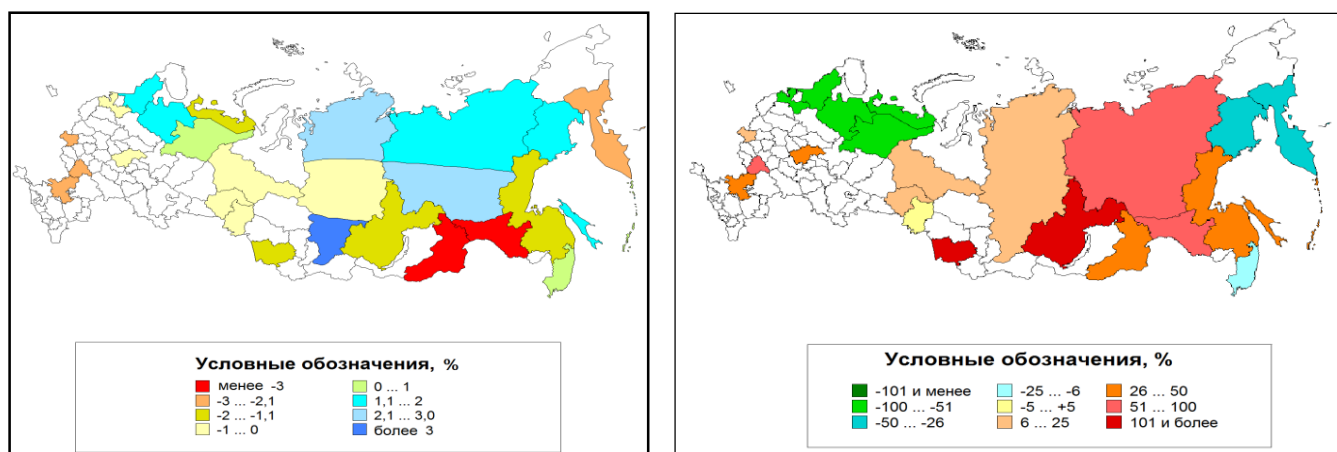
Наиболее холодным периодом во всех регионах является период с 1961 по 1970 гг. Далее по времени, среднегодовая температура начинает расти, и ее рост из линейного становится экспоненциальным.

Следует отметить, что региональные системы существенно различаются по скорости прирастания среднегодовых температур. По мере продвижения с севера на юг в региональных системах происходит сглаживание температурных изменений и снижение температурных разниц между базовым и конечным периодом наблюдений. Повышение среднегодовых температур в региональных системах центра и юга России происходит постепенно, в то время как северные и восточные регионы демонстрируют более интенсивный температурный рост, в том числе и в период наблюдений с 2009 по 2018 годы.

Снижение количества выпадающих осадков и слабый тренд на снижение влажности воздуха достоверно установлены в центральной части России. Определены семь регионов (30% от анализируемой выборки), в которых отклонения среднегодового количества осадков от климатической нормы имеют максимальное значение и по итогам анализа временных рядов их динамики превышают 50 мм/год. Достоверное снижение среднегодового количества осадков по сравнению с климатической нормой установлено для Брянской и Ростовской областей, (имеет место возрастание аридности). Для территориальных климатических систем Республики Саха-Якутия, Камчатки, Магаданской области, Хабаровского и Приморского краев напротив характерно увеличение сумм осадков, т.е. фиксируется тенденция к возрастанию гумидизации. Подобная картина является отражением роста контрастности климатических (лесорастительных) условий между юго-западной и северо-восточной частями территории Российской Федерации.

Таким образом, на территории Российской Федерации прослеживается устойчивый тренд к повышению среднегодовых температур и росту контрастности лесорастительных условий. В зависимости от природной зоны, в которой расположен исследуемый субъект, повышение среднегодовых температур и изменение среднегодового количества осадков имеет свою скорость и свои особенности влияния на состо-

яние лесных экосистем. Анализ динамики средних значений относительной влажности воздуха, частоты повторяемости опасных метеорологических явлений (ОЯ) в исследуемых регионах позволил установить колебания среднегодовых значений в пределах $\pm 1,5\%$, характерных для половины обследованных по этому критерию региональных климатических экосистем. Так повышение относительной влажности на 1,5% и более отмечено в Республике Саха – Якутия, Архангельской, Ленинградской и Сахалинской областях. В девяти региональных системах относительная влажность понизилась (Ленинградская, Воронежская, Ростовская, Нижегородская, Амурская области, Забайкальский, часть Красноярского, Хабаровского, Камчатского краев) (рис. 3).



Изменение влажности воздуха в регионах РФ (1991-2018 гг.) по отношению к периоду (1961-1990 гг.)

Изменение количества ОЯ в регионах РФ (2009-2018 гг.) по отношению к периоду (1991-2000 гг.)

Рисунок 3 - Изменения относительной влажности воздуха и количества ОЯ в регионах РФ по отношению к сравниваемым периодам (разработано автором)

Находясь в зависимости от температуры, фазовые переходы влаги в свою очередь оказывают влияние на возникновение опасных метеорологических явлений, наибольшее значение которых приходится, за весь период исследования, на территорию ДФО.

Анализ пространственного распределения повторяемости экстремальных явлений в период с 1991 по 2000 годы показал, что их распределение было относительно равномерным, а с 2009 по 2018 гг. наблюдался резкий рост опасных метеорологических явлений во всех федеральных округах.

Установлено, что тенденции усиления неустойчивости климатических условий и увеличения частоты и силы опасных экстремальных явлений сохраняются до настоящего времени. Возрастание количества ОЯ в исследуемых региональных системах зафиксировано в Восточной Сибири (Красноярский и Забайкальский края, Республика Саха-Якутия).

Полученные нами результаты согласуются с данными исследователей данной проблематики и подчеркивают во-первых, высокую скорость происходящих разнонаправленных климатических изменений, во-вторых, наличие причинно-следственных связей между абиотическими факторами воздействия и состоянием лесных экосистем регионов, в-третьих, недетерминированность последствий климатических

изменений, становящихся, в свою очередь, катализатором разнообразных изменений во многих отраслях хозяйственной деятельности.

Изученные показатели, отражающие изменение абиотических факторов, позволяют оценить состояние РЛС достаточно полно для понимания их устойчивости вследствие климатических изменений и возрастания антропогенной нагрузки.

Глава 4. Динамика критериев уязвимости лесных экосистем

Адаптационный потенциал лесов состоит в способности лесных экосистем приспособляться к климатическим изменениям и иным неблагоприятным факторам для сохранения экосистемных функций. Анализ критериев уязвимости лесных экосистем к абиотическим факторам и антропогенной нагрузке определяет, в какой степени леса подвержены изменению, включая их способность к адаптации.

Ключевые критерии уязвимости лесных экосистем – лесистость, площадь погибших лесных насаждений под воздействием болезней и вредителей, площадь погибших лесных насаждений в результате пожаров, запас спелых и перестойных насаждений по преобладающей породе, ареал распространения древесных пород.

В ходе исследования и сравнения данных по лесистости 1925, 1989, 1991 и 2018 годов установлено значительное сокращение площади земель лесного фонда и покрытых лесом земель в Российской Федерации, при этом в регионах динамика лесистости существенно различается, в силу влияния факторов как природного, так и антропогенного происхождения.

Наиболее существенным критерием уязвимости лесных экосистем остаются пожары. Общая площадь лесных насаждений, погибших от лесных пожаров в модельных регионах Северо-Западного федерального округа составила 556,22 тыс. га, Центрального – 32,462 тыс. га, Южного – 29,326 тыс. га, Приволжского – 174,495 тыс. га, Уральского – 261,990 тыс. га, Сибирского – 2318,577 тыс. га, Дальневосточного – 6117,086 тыс. га за исследуемый период (рис. 4).

В ходе аналитического исследования установлен высокий уровень корреляции между климатическими параметрами и лесными пожарами для лесных экосистем размещенных в центре и на юге России, а также в Восточной Сибири (табл. 3).

Значительная и умеренная корреляция повсеместно обнаружена для лесных пожаров и средней температуры воздуха.

Наименьшее количество значимых корреляционных связей с климатическими факторами характерно для показателей площади насаждений, погибших под воздействием вредных организмов во всех региональных системах из числа изученных.

Значительная и умеренная корреляция повсеместно обнаружена для лесных пожаров и средней температуры воздуха.

Наименьшее количество значимых корреляционных связей с климатическими факторами характерно для показателей площади насаждений, погибших под воздействием вредных организмов во всех региональных системах из числа изученных.

Увеличение площадей лесных насаждений погибших от фитофагов и энтомовредителей, несомненно, является одним из видов реакций лесных экосистем на изменение действия абиотических факторов, и в первую очередь – климатических (рис. 5).

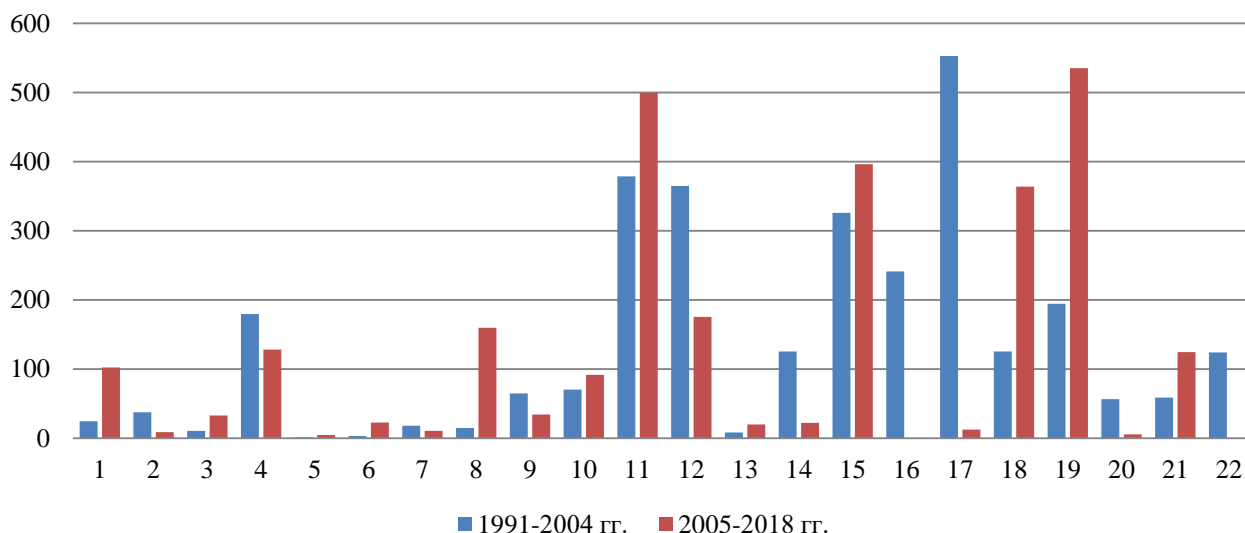
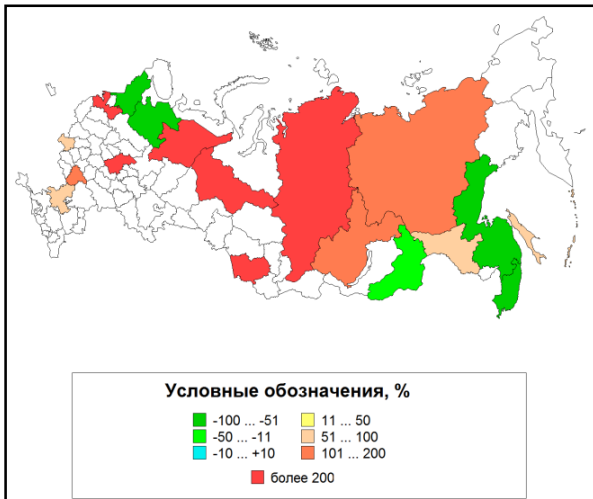


Рисунок 4 - Динамика площадей лесных насаждений, погибших от лесных пожаров с 1990 по 2018 гг., тыс.га

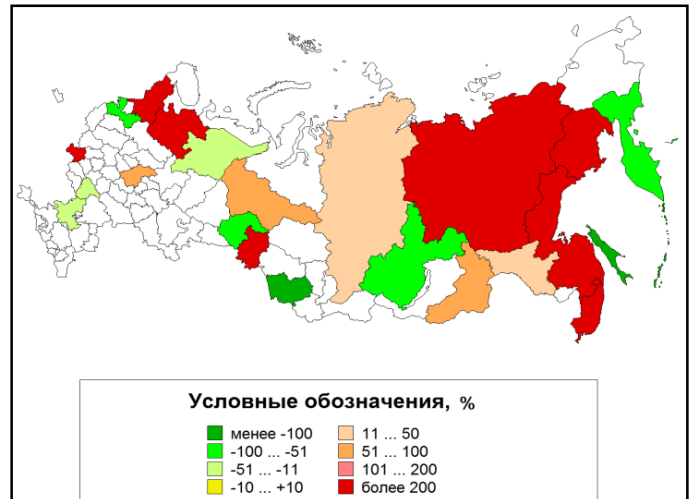
Примечание: (цифрами обозначены 1- Архангельская область, 2 – Ленинградская область, 2 – Новгородская область, 3 – Республика Карелия, 4 – Республика Коми, 5 – Брянская область, 6 – Воронежская область, 7 – Ростовская область, 8 – Нижегородская область; 9 – Тюменская область, 10 – Ханты-Мансийский АО – Югра, 11 – Забайкальский край; 12 – Иркутская область; 13 – Омская область; 14 – Алтайский край; 15 – Красноярский край, 16 – Республика Саха (Якутия), 17 – Камчатский край, 18 – Магаданская область, 19 – Хабаровский край, 20 – Сахалинская область, 22 – Приморский край, 22 – Амурская область.)

Таблица 3 – Распределение комплексов лесных экосистем регионов по уровню корреляции абиотических факторов и критериев уязвимости

степень тесноты связи <i>0,71 - 0,9</i>		степень тесноты связи <i>0,51 - 0,7</i>		степень тесноты связи <i>0,31 - 0,5</i>	
Факторы, диапазон уровня корреляции	Комплексы лесных экосистем регионов	Факторы, диапазон уровня корреляции	Комплексы лесных экосистем регионов	Факторы, диапазон уровня корреляции	Комплексы лесных экосистем регионов
ОМЯ / Площадь поврежденных вредными организмами (0,69-0,8)	АО, РКо, СО	Температура / Запас лесо-образующих пород (0,68-0,7)	АО, ЛО, РО, РКо, БО, ВО, РО, НО	Температура / Лесистость (0,39-0,51)	АО, ЛО, РКа, РКо, БО, РЯ, КК, СО, АО
		Количество пожаров / Площадь погибших от пожаров (0,54-0,74)	ЛО, РКо, НО, ЗК, ИО, КК, МО	Количество пожаров / Площадь пожаров (0,3-0,49)	АО, БО, ВО, ХМО, ОО, СО
				Осадки / Площадь погибших от пожаров (-0,36-(-0,51))	ЛО, РКо, НО, АК, СО
				Высота снежного покрова / Лесистость (0,31-0,42)	АО, ЛО, БО, РС, СО



Изменение количества площадей леса погибших от фитоболезней и энтомовредителей в регионах РФ (2008-2018 гг.) по отношению к периоду (1991-2000 гг.)



Изменение площади лесных пожаров в регионах РФ (2008-2018 гг.) по отношению к периоду (1991-2000 гг.)

Рисунок 5 – Изменение площадей леса погибшего в результате поражения (фитоболезни, энтомовредители, лесные пожары)

Возрастание таких площадей свидетельствует о сравнительно низких адаптивных возможностях лесных экосистем.

Основой для понимания явления адаптивности лесных экосистем к неблагоприятным факторам различного генезиса, являются представления о взаимоотношениях древесных растений со средой обитания. Многолетние климатические изменения, несомненно, оказывают прямое воздействие на продуктивность наземных экосистем (Сергиенко, 2018), в том числе и на лесные экосистемы. Изменение запаса основных лесообразующих пород достоверно установлено для всех региональных комплексов лесных экосистем (табл. 4).

Таблица 4 – Статистические показатели критериев уязвимости РЛС (лесистость и запас основных лесообразующих пород)

Регион, опорная точка	Факторы уязвимости лесных экосистем					
	Лесистость, %			Средние значения запаса основных лесообразующих пород		
	1±m	2±m	t	1±m	2±m	t
АО	52,9±0,17	54,0±0,02	6,49	2148±1,00	2547,4±14,43	27,58
ЛО	54,7±0,41	57,2±0,05	5,95	619,3±16,59	776,1±3,49	9,25
НО	63,6±0,39	64±0,08	4,87	227,05±5,78	289,25±4,12	8,79
РКа	51,4±0,25	52,6±0,02	5,99	886,1±9,97	964,4±3,14	7,48
РКо	71,5±0,09	72,7±0,02	13,72	2844,1±2,04	2822,2±3,03	5,99
НАО	1,3±0,08	1,1±0,00	1,96	18,2±0,02	18,2±0,00	1,30
БО	31,9±0,16	32,9±0,02	5,93	135,1±1,84	223,7±5,41	15,50
ВО	8,3±0,03	8,1±0,03	2,63	48,8±0,19	57,6±0,76	11,20
РО	2,4±0,02	2,4±0,00	1,96	13,8±0,13	18,3±0,08	29,64
НО	46,7±0,18	47,0±0,18	1,28	393,9±8,62	551,7±3,28	17,10
ТО	39,9±0,29	43,8±0,12	12,47	695,9±8,68	937,5±4,83	24,32
ХМО	51,7±0,08	53,9±0,02	27,75	3076,7±5,26	3147,4±10,73	5,92
ЗК	69,3±0,18	68,2±0,02	5,98	2323,6±8,94	2502,4±3,71	18,48
ИО	80,3±0,27	82,9±0,08	9,17	8752,8±20,76	8666,0±28,63	2,45

Регион, опорная точка	Факторы уязвимости лесных экосистем					
	Лесистость, %			Средние значения запаса основных лесообразующих пород		
	1±m	2±m	t	1±m	2±m	t
ОО	31,6±0,05	32,3±0,02	14,74	362,9±1,75	555,8±36,92	5,22
АК	21,2±0,03	22,7±0,03	32,78	415,7±0,35	536,2±0,51	194,45
КК	53,9±8,16	45,2±0,02	1,06	11522,4±41,93	11468,4±10,75	1,25
РС	47,0±0,10	51,0±0,05	35,77	8181,6±74,93	8464,2±39,17	0,49
КК	56,5±0,03	42,7±0,00	41,00	593,2±31,25	730,6±0,25	4,41
МО	38,2±0,15	37,4±0,01	5,45	337,9±9,63	280,4±0,16	5,98
ХК	65,7±0,97	66,3±0,08	0,58	4942,4±8,14	4814,3±5,37	13,14
СО	64,9±0,09	67,9±0,07	26,09	601,3±0,65	612,7±2,29	4,81
ПК	75,5±0,25	77,5±0,10	8,74	11764,2±1,59	1744,4±2,61	6,45
АМО	63,1±0,21	65,3±0,05	8,74	3631,1±707,83	1944,3±2,22	0,99

В настоящей работе оценка продуктивности лесов проводилась на основании изучения средних запасов древостоев по группам пород и возраста. В результате установлено, что средние запасы хвойных насаждений Европейско-Уральской части России выросли, а наименьшим ростом отмечены запасы насаждений северной тайги, ввиду устойчиво-низкого теплового фактора и бедности почв. Скорость изменения средних запасов хвойных насаждений имеет тенденцию к увеличению при продвижении с севера на юг: в молодняках от 0,09 до 0,66, в средневозрастных от - 0,21 до 1,09, в приспевающих от 0,41 до 0,91, в спелых и перестойных от 0,17 до 0,87. На территории Европейско-Уральской части России наблюдается снижение скорости увеличения средних запасов твердолиственных с 0,61 до 0,39. На Дальнем Востоке в зоне средней тайги период спада (- 0,22) сменяется небольшим ростом (0,17), а в более южных зонах на смену периоду роста продуктивности (0,32) приходит стабилизация (0,09).

В большинстве исследуемых регионов наблюдается уменьшение средних площадей, занятых спелыми и перестойными насаждениями при достаточно высокой достоверности различий между сравниваемыми десятилетиями (Республика Карелия, Ростовская область, Тюменская область, Ханты-Мансийский АО – Югра, Иркутская область, Омская область, Красноярский край, Республика Саха (Якутия), Сахалинская область и Приморский край).

Ареалы распространения древесных пород определяются крайними значениями количества тепла и влаги, которые обуславливают качество и продуктивность лесных экосистем. Для исследованных модельных регионов анализируемый период характеризуется смещением ареалов распространения древесных пород для 95% их числа (рис. 6). Установлено, что для комплексов лесных экосистем Северо-Западного федерального округа характерной тенденцией является продвижение древесных пород на север (Архангельская область, Ленинградская область, Республика Карелия, Республика Коми). В Центральном федеральном округе также имеют место смещения ареалов и движение древесных пород на север. Для комплексов лесных экосистем юга России характерно обезлесевание на фоне повышения аридности климата и возрастания антропогенной нагрузки.

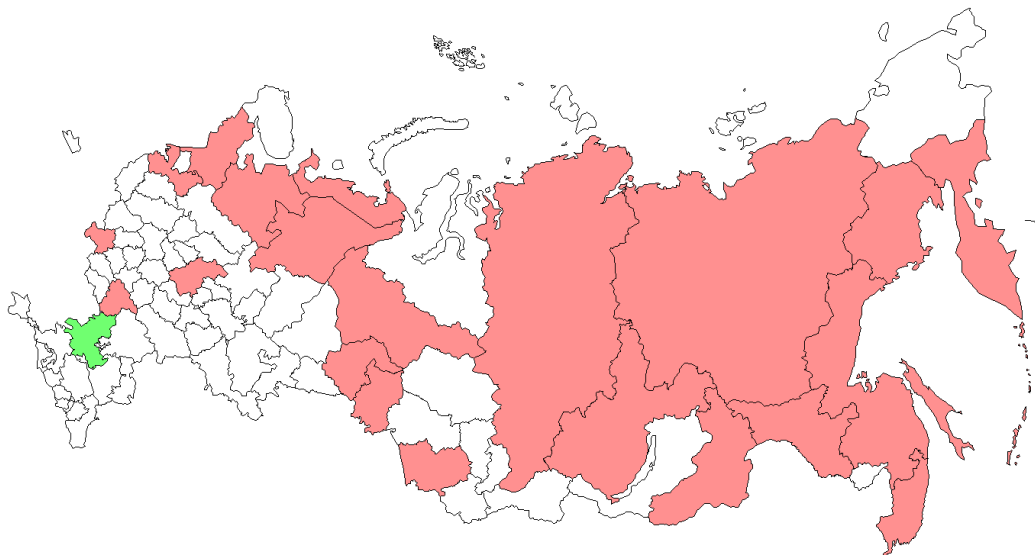


Рисунок 6. Изменения ареалов основных лесообразующих пород в исследуемых регионах
Примечание: Зеленым цветом выделены регионы, где ареалы не меняются, розовым цветом выделены регионы, где присутствует движение ареалов древесных пород

Воздействия климатических изменений на леса России могут быть положительными и отрицательными, в зависимости от регионов страны. Изменения климата ведут к эскалации биотических (вредители и болезни) и абиотических (пожары и ураганы) нарушений. Критические, с позиции климатических изменений и уязвимости к ним, РЛС расположены в зоне Центральной лесостепи, в Якутии, Архангельской области, а также в Восточной Сибири.

Глава 5. Основные результаты авторского кластерного и математико-статистического анализа адаптационного потенциала лесных экосистем субъектов Российской Федерации

5.1 Оценка адаптационного потенциала комплексов лесных экосистем субъектов Российской Федерации

В ходе исследования состояния комплексов лесных экосистем регионов, выявлены нарушения их биологической устойчивости, проявляющиеся в снижении адаптационного потенциала при наступлении критических климатических условий. Высокие темпы роста деструктивных процессов в лесных экосистемах имеют место как в северных зонах страны, так и в зонах переходов от одних лесорастительных условий к другим.

Установленные корреляционные зависимости между абиотическими факторами и критериями уязвимости доказывают наличие причинно-следственной связи между климатическими изменениями и вариабельностью состояния лесных экосистем (рис. 7).

Оценка адаптационного потенциала с использованием авторского методического подхода позволила дифференцировать с позиции устойчивости комплексы РЛС, выделяя группы из четырех стабильных (НО, РС, МО, АмО), четырнадцати нестабильных и шести деградирующих (АО, ВО, ТО, ИО, КРК, ХК) комплексов.

Наиболее уязвимыми в этой связи оказываются региональные системы севера СЗФО, УФО, юга ЦФО, СФО и Дальнего Востока (рис. 8).

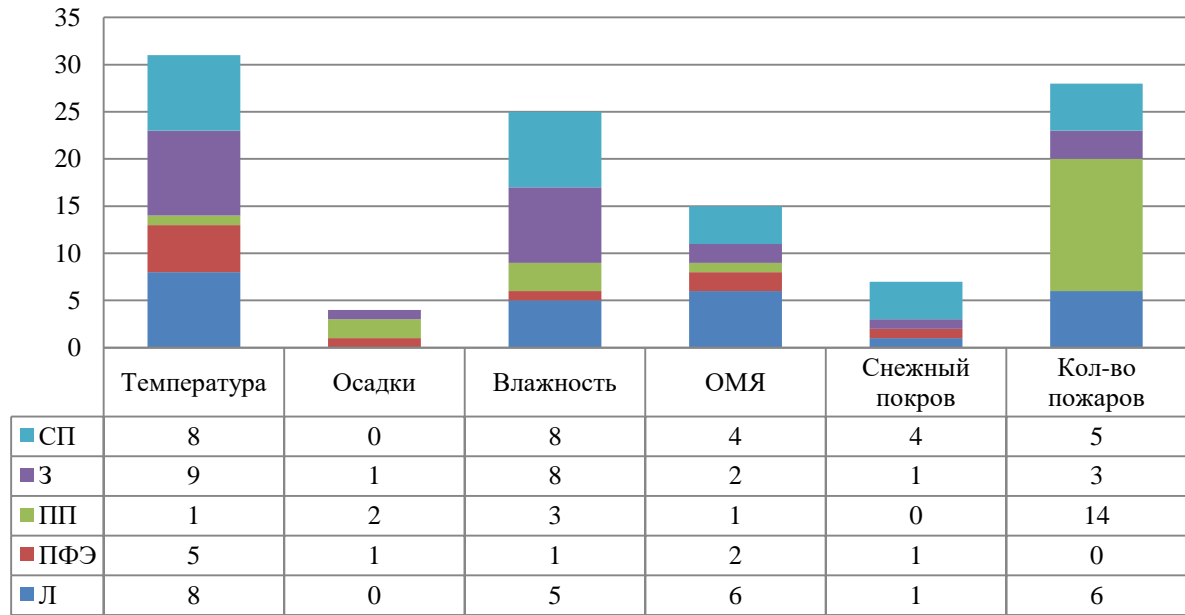


Рисунок 7 - Распределение значимых корреляций (факторы уязвимости лесных экосистем и абиотические факторы)

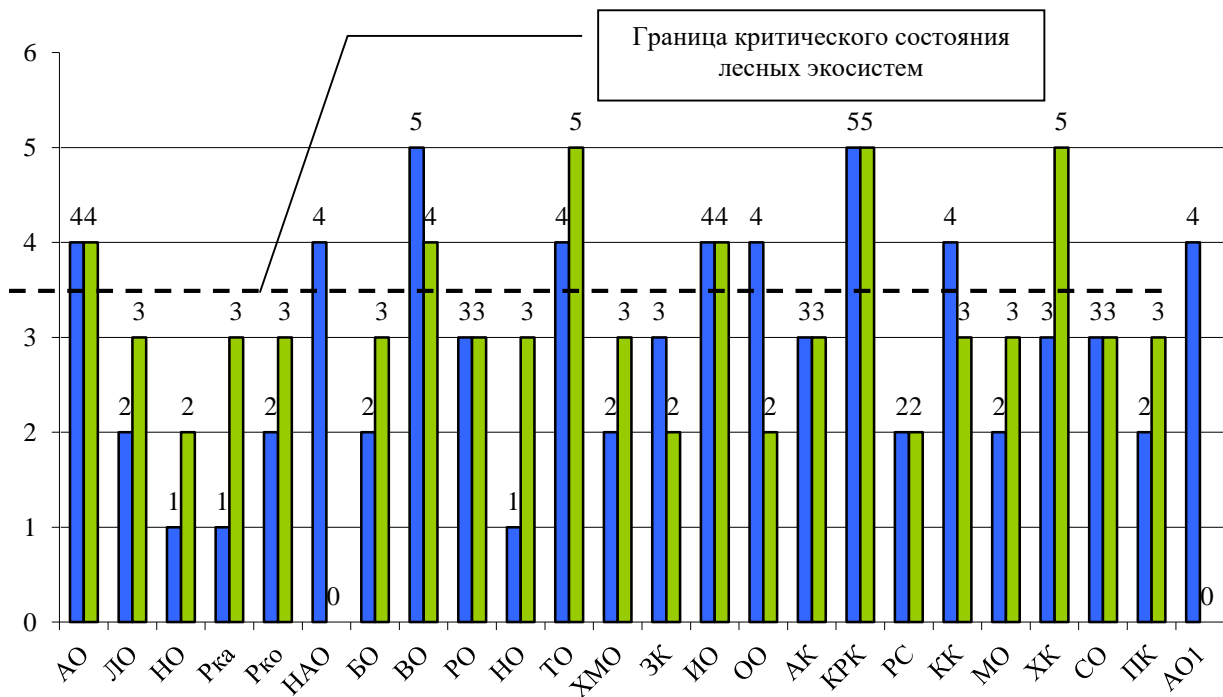


Рисунок 8 – Распределение региональных лесных экосистем по уровню индексов адаптационного потенциала (АО – Архангельская область; ЛО – Ленинградская область; НО – Новгородская область; Р_{ка} – Республика Карелия; Р_{ко} – Республика Коми; НАО – Ненецкий автономный округ; БО – Брянская область; ВО – Воронежская область; РО – Ростовская область; НО1 – Нижегородская область; ТО – Тюменская область; ХМО – Ханты-Мансийский автономный округ; ЗК – Забайкальский край; ИО – Иркутская область; ОО – Омская область; АК – Алтайский край; КРК – Красноярский край; РС – Республика Саха; КК – Камчатский край; МО – Магаданская область; ХК – Хабаровский край; СО – Сахалинская область; ПК – Приморский край; АО1 – Амурская область)

Выявленное различие реакций лесных экосистем на климатические изменения определяет необходимость формирования дифференцированного подхода и мер по адаптации лесных экосистем к изменениям климата.

5.2 Анализ адаптационного потенциала лесных экосистем объектов исследования – Новгородская и Воронежская области

Лесные земли в Воронежской области занимают площадь 464,6 тыс. га (по данным формы № 3 ГЛР за 2017 год), в том числе покрытые лесом площади – 339,6 тыс. га с общим запасом древесины чуть более 55,0 млн. м³ и преобладанием твердолиственных пород. Лесные экосистемы располагаются преимущественно в лесостепной зоне (72,6%) и занимают, соответственно, лесостепной район Европейской части Российской Федерации и район степей Европейской части Российской Федерации.

При оценке состояния лесных экосистем лучшими индикаторами являются сами древостои, которые в Воронежской области характеризуются 2,4 классом бонитета, полнотой 0,69, возрастом 57 лет и средним запасом на 1 га покрытых лесом земель 181 м³ и по своему целевому назначению относятся к защитным лесам. Наиболее значимые для существования лесных экосистем изменения ключевых факторов представлены в динамике с 1961 г. по настоящее время и отражают увеличение среднегодовой температуры воздуха с 5,8 до 8°С, снижение относительной влажности воздуха, рост количества лесных пожаров; увеличение площади поврежденных энтомо-фитовредителями лесонасаждений, накопление спелых и перестойных лесов, снижение ежегодного прироста лиственных насаждений (табл. 5).

Таблица 5 – Динамика абиотических факторов и критериев уязвимости лесных экосистем Воронежской области

ПН	I_{af1}	I_{af2}	I_{af3}	I_{af4}	I_{af5}	I_{af6}	$I_{лэ1}$	$I_{лэ2}$	$I_{лэ3}$	$I_{лэ4}$	$I_{лэ5}$	$I_{лэ6}$
1961-1970	5,8	562	73,6	7	17,1	320	8,4	40,3	88,0	214	3,6	3,2
1971-1980	6	571	74,7	9	14,5	408	8,3	58,9	56,0	187	4,0	2,7
1981-1990	6,4	618,9	74,8	11	14,9	556	8,2	87	159,1	202	4,1	2,5
1991-2000	6,6	545,9	73,9	7,6	16,1	575	8,3	26	265	175	4,2	2,6
2001-2010	7,6	579,5	72,4	16,3	20,6	843	8,4	1565,0	2295	215	4,2	2,5
2011-2019	8	606,1	72,1	6	17,1	452	8,3	4125,5	58,3	218	4,2	2,4

Примечание: ПН – период наблюдений; I_{af1} – средняя годовая температура воздуха; I_{af2} – среднегодовая сумма осадков за год; I_{af3} – средняя годовая относительная влажность; I_{af4} – годовое количество опасных метеорологических явлений; I_{af5} – средняя высота снежного покрова; I_{af6} – годовое количество лесных пожаров; $I_{лэ1}$ – лесистость; $I_{лэ2}$ – площадь погибших лесных насаждений под воздействием фитоболезней и энтомовредителей; $I_{лэ3}$ – площадь погибших лесных насаждений в результате пожаров; $I_{лэ4}$ – запас спелых и перестойных насаждений по преобладающей породе; $I_{лэ5}$ – средний ежегодный прирост хвойных пород; $I_{лэ6}$ – средний ежегодный прирост лиственных пород.

Представленные в таблице индексы отражают динамические изменения для рассматриваемых комплексов лесных экосистем (табл. 6).

Значения балльной оценки индексов адаптационного потенциала лесных экосистем региона варьируют незначительно и имеют тенденцию к повышению в период с 1991 до 2019 гг.

Позиционирование динамики адаптивности комплекса лесных экосистем Воронежской области в период с 1961 по 2019 гг. позволяет считать, что динамические изменения, происходящие в их состоянии ведут к изменению их позиции в квадратной матрице (рис. 9). Результаты исследования состояния климатических факторов подтверждают вывод о сохранении в последние годы тенденции к потеплению и ве-

Таблица 6 – Бальная оценка колебаний индексов адаптационного потенциала (в числителе абиотические факторы, в знаменателе критерии уязвимости лесных экосистем)

Период наблюдений	$I_{af1}/I_{лэ1}$, балл	$I_{af2}/I_{лэ2}$, балл	$I_{af3}/I_{лэ3}$, балл	$I_{af4}/I_{лэ4}$, балл	$I_{af5}/I_{лэ5}$, балл	$I_{af6}/I_{лэ6}$, балл	Значение $\frac{\sum I_{af}}{\sum I_{лэ}}$, балл
1961-1970	0/1	0/1	0/0	0/0	1/0	0/1	1/3
1971-1980	0/1	0/1	0/0	0/0	1/1	0/1	1/4
1981-1990	1/1	0/1	0/0	0/1	1/1	0/1	3/4
1991-2000	1/1	0/1	0/0	1/1	1/1	0/1	3/5
2001-2010	1/1	1/0	0/1	0/1	1/1	1/1	4/5
2011-2019	1/1	1/1	0/1	1/1	1/0	1/1	5/4

дущей к усугублению негативных процессов протекающих в лесных экосистемах (усыхание, распад древостоев, замена пород, рост вспышек опасных организмов).

Анализируя состояние лесных экосистем регионов выявлено, что в период с 1961 по 2019 годы имеет место возрастание негативных процессов, усиливаются процессы деградации лесов. Переход от стабильного состояния к состоянию утраты биологической устойчивости в лесных экосистемах Воронежской области происходит быстро, что позволяет считать эти системы более неустойчивыми к климатическим факторам.

Анализ влияния абиотических факторов и оценка влияния критериев уязвимости на состояние и устойчивость региональных лесных экосистем показал, что первопричиной наблюдающихся изменений в Новгородской области является динамика увеличения среднегодовой температуры воздуха с 4,8 до 7°C, снижение относительной влажности воздуха (табл. 7).

Таблица 7 – Динамика абиотических факторов и критериев уязвимости лесных экосистем в Новгородской области

ПН	I_{af1}	I_{af2}	I_{af3}	I_{af4}	I_{af5}	I_{af6}	$I_{лэ1}$	$I_{лэ2}$	$I_{лэ3}$	$I_{лэ4}$	$I_{лэ5}$
1961-1970	4,8	764,5	78,8	2,1	18,9	351,6	62,8	-	1,1	125,7	225,8
1971-1980	5,2	693,8	77,9	1,7	15,4	278,5	63	-	1,0	128,5	225,1
1981-1990	5,4	718,6	77,2	0,5	21,5	312,8	63,8	16,8	1,2	130,5	226,4
1991-2000	5,9	671,4	80,3	3,8	19,7	426,5	63,6	15,1	1,8	132,9	227,05
2001-2010	6,4	698,9	78,8	2,2	23,1	396,9	64,1	24,8	1,6	156,1	282,78
2009-2018	7,0	744,5	77,1	1,7	24,1	238,7	64	35,7	1,4	156,1	289,25

Примечание: ПН – период наблюдений; I_{af1} – средняя годовая температура воздуха; I_{af2} – среднегодовая сумма осадков за год; I_{af3} – средняя годовая относительная влажность; I_{af4} – годовое количество опасных метеорологических явлений; I_{af5} – средняя высота снежного покрова; I_{af6} – годовое количество лесных пожаров; $I_{лэ1}$ – лесистость; $I_{лэ2}$ – площадь погибших лесных насаждений под воздействием фитоболезней и энтомофитовредителей; $I_{лэ3}$ – площадь погибших лесных насаждений в результате пожаров; $I_{лэ4}$ – площадь территорий, занятых спелыми и перестойными насаждениями; $I_{лэ5}$ – запас основных лесообразующих пород.

В рассматриваемый период времени на исследуемой территории наблюдалось смещение зоны с преобладанием лесных ландшафтов в северном направлении. В условиях антропогенного и техногенного воздействия на леса, увеличения количества и площади лесных пожаров, могут наблюдаться флуктуации, отличающиеся от установленной тенденции.

Наблюдается линейный тренд повышения средних годовых аномалий температур при сохраняющихся суммах выпадающих осадков, что стало критическим фактором, способствующим нарастанию численности целого ряда опасных для леса видов вредных насекомых и болезней и снижению биологической устойчивости лесов в целом.

Результаты оценки адаптационного потенциала лесных экосистем Новгородской области позволили идентифицировать его как нестабильный, при котором лесные насаждения оказываются в уязвимом состоянии. Позиционирование динамики адаптивности комплекса лесных экосистем Новгородской области в период с 1961 по 2019 гг. следующее: 1961 – 1980-стабильный комплекс лесных экосистем; 1981 – 2019 - нестабильный комплекс лесных экосистем).

Как в анализируемой, так и в аналогичных региональных лесных экосистемах влияние климатических изменений может быть компенсировано лесохозяйственными мероприятиями, и привести к стабилизации их состояния.

Лесные экосистемы объекта исследований являются неустойчивыми к климатическим изменениям, что подтверждают расчеты индексов уязвимости (рис. 9). В то же время можно предположить, что ожидаемое изменение климата послужит положительным фактором для развития лесного хозяйства конкретного региона. При повышении температуры воздуха возможно увеличение биомассы лесных экосистем. В зонах, где имеется избыток влаги и дефицит тепла, от потепления климата можно ожидать получение положительного эффекта для лесного хозяйства.

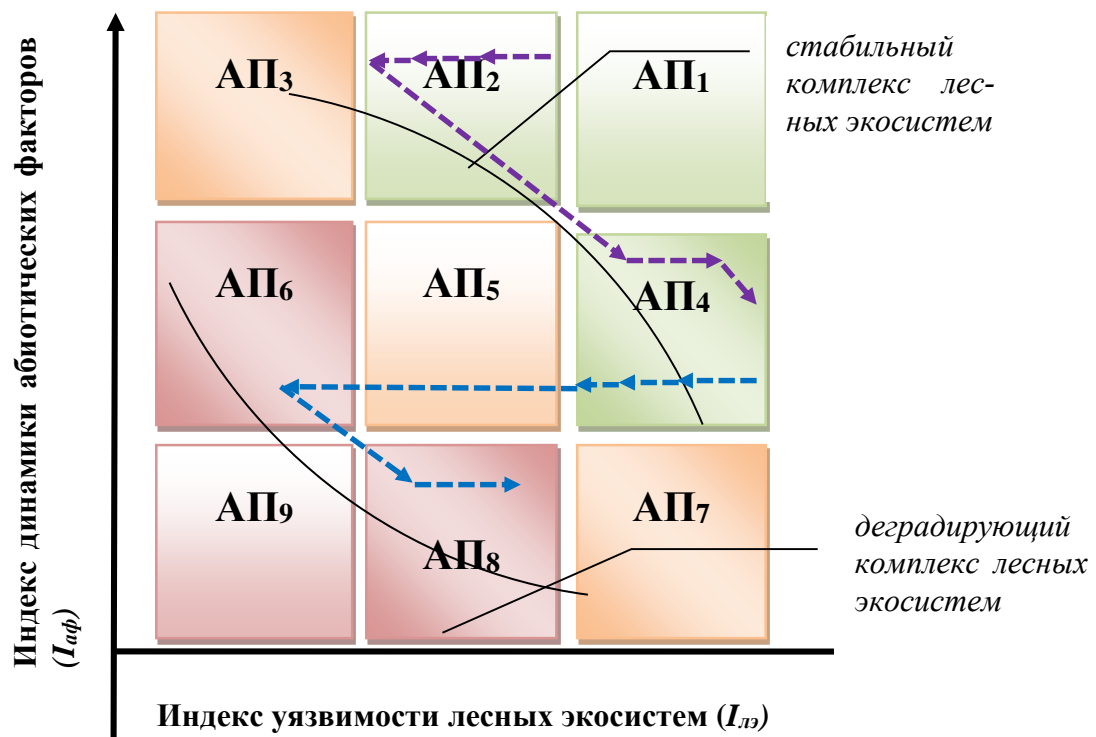


Рисунок 9. - Позиционирование динамики адаптивности комплекса лесных экосистем Воронежской и Новгородской областей в период с 1961 по 2019 гг.

Использование созданной схемы и анализ составленной цепочки воздействий позволяет не только обеспечить понимание уязвимости лесных экосистем объектов

исследования, но и подойти к выявлению потенциальных мер по адаптации к негативным воздействиям.

Глава 6. Сценарный подход в отношении лесных экосистем Российской Федерации в условиях изменения климата

Рассмотренный ранее авторский подход к определению адаптационного потенциала в разрезе региональных лесных экосистем позволяет решить задачу прогнозирования их устойчивости к климатическим изменениям и формирования на этой основе мер адаптации.

Выделение комплексов лесных экосистем со схожими траекториями развития и состояния, позволяет снизить многовариантность управленческих решений и набор мер обеспечивающих их адаптацию.

Используя индексы адаптационного потенциала, проведена кластеризация региональных лесных экосистем для трех временных периодов (1991–2000, 2001–2010, 2011–2019 гг) методом k -средних (рис. 10).

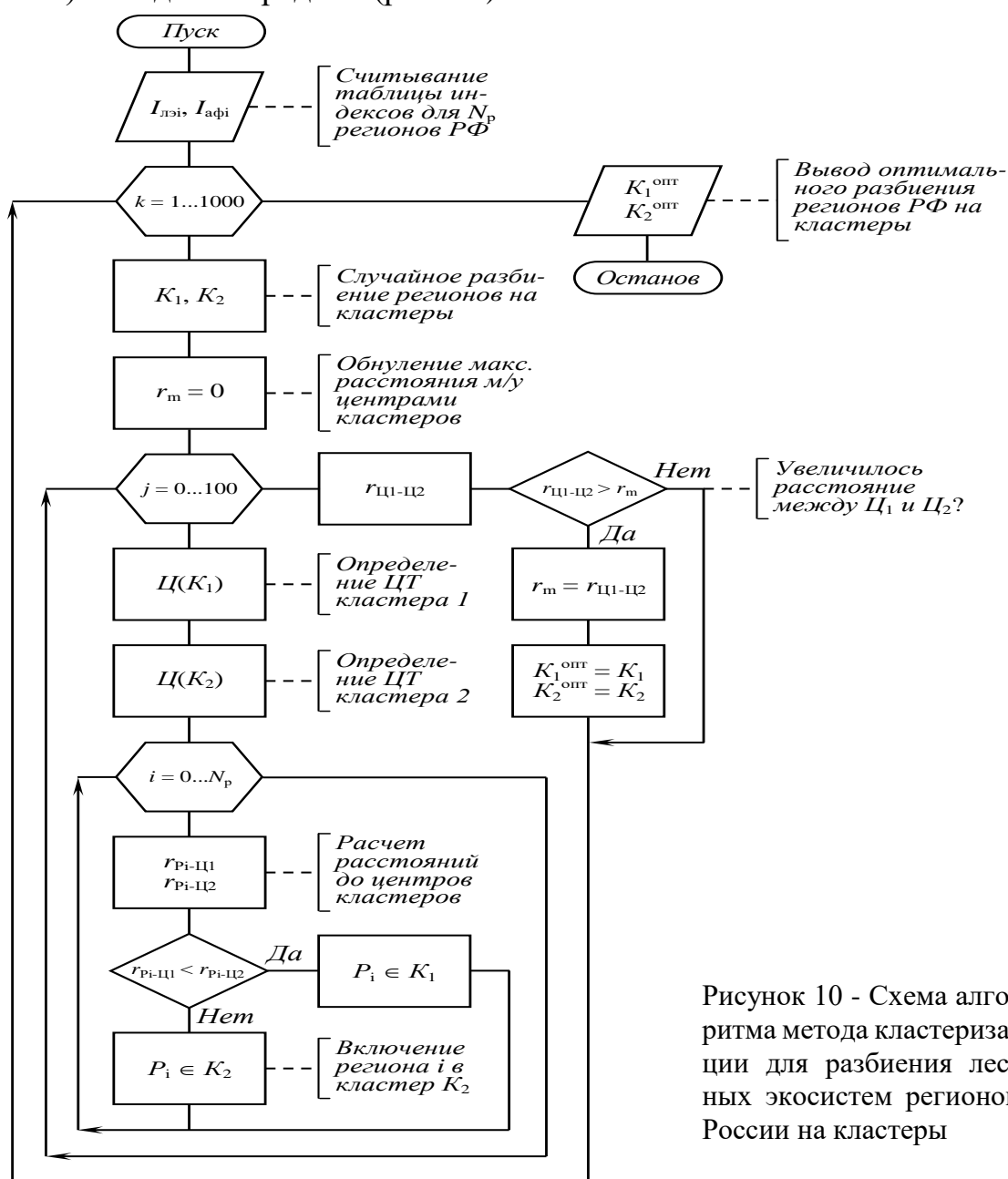


Рисунок 10 - Схема алгоритма метода кластеризации для разбиения лесных экосистем регионов России на кластеры

В ходе работы выполнена кластеризация региональных лесных экосистем 24 субъектов России, установлены общности регионов по ключевым признакам.

В каждом анализируемом периоде по результатам кластеризации выделено три группы кластеров, объединяющих региональные лесные экосистемы, различающиеся уровнем адаптационного потенциала, и, как следствие, требующих дифференцированных управленческих решений и лесохозяйственных мер.

По итогам кластерного анализа за период с 2011 по 2019 годы, в первый кластер отнесены лесные экосистемы Нижегородской, Ростовской, Магаданской и Амурской областей, имеющие устойчивые во времени индикаторы адаптационного потенциала.

Второй кластер объединяет Ленинградскую, Новгородскую, Брянскую, Ростовскую, Омскую, Сахалинскую области, а также Республики Карелия и Коми, Алтайский, Камчатский и Приморский край, состояние лесных экосистем этих регионов схожее и отличается неустойчивостью. Третий кластер объединяет Архангельскую, Воронежскую, Тюменскую и Иркутскую области, а также Хабаровский и Красноярский края с характерными признаками деградации в состоянии региональных комплексов лесных экосистем (рис. 11).

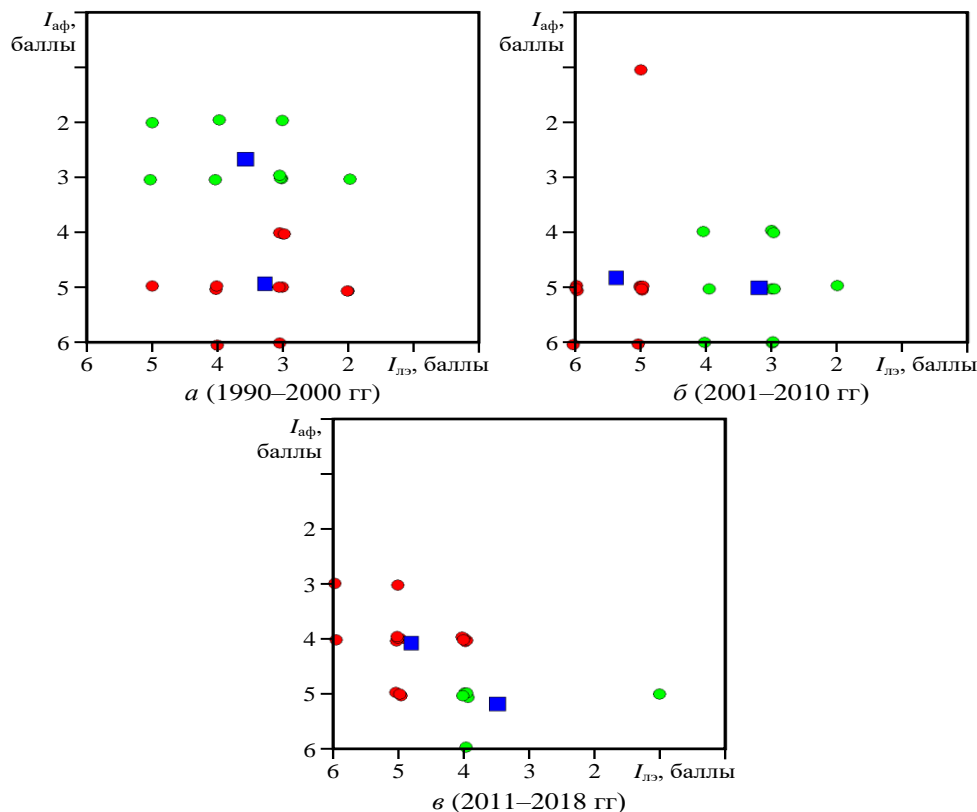


Рисунок 11 - Результаты кластерного анализа для позиционирования адаптационного потенциала рассматриваемых лесных экосистем субъектов РФ в 1991–2000 (а), 2001–2010 (б), 2011–2019 гг (в) (кластер 1 – светлые зеленые, кластер 2 – темные красные).

Применение разработанной методики для анализа региональных комплексов лесных сообществ позволило установить, что происходит смещение адаптационного потенциала лесных экосистем к нижней границе их устойчивости.

Выделенные кластеры лесных экосистем необходимы для целей лесоправления и проектирования мер адаптационного характера.

Сценарии и адапционные меры в отношении лесных экосистем Российской Федерации в условиях изменений климата

Адаптационные меры это определённые действия, направленные на уменьшение уязвимости лесной экосистемы и повышения ее способности к адаптации. Меры адаптации лесных экосистем к климатическим изменениям реализованы в разрезе трех сценариев – во-первых, это ведение лесного хозяйства с элементами реактивной адаптации к климатическим изменениям (для стабильных комплексов лесных экосистем), во-вторых, реализация стратегии адаптации лесного хозяйства к изменениям климата (для неустойчивых комплексов лесных экосистем), в-третьих, ведение лесного хозяйства в условиях жесткого воздействия климатических изменений (для деградирующих комплексов лесных экосистем).

Наивысшим приоритетом при формировании и осуществлении стратегий и программ адаптации лесных экосистем регионов обладают упреждающие, стратегические и локализованные меры, осуществляемые государственным сектором. Это объясняется, в первую очередь, особенностями структуры производства и потребления в указанном секторе экономики, а также длительным сроком реакции лесных экосистем на неблагоприятные климатические воздействия (рис. 12).

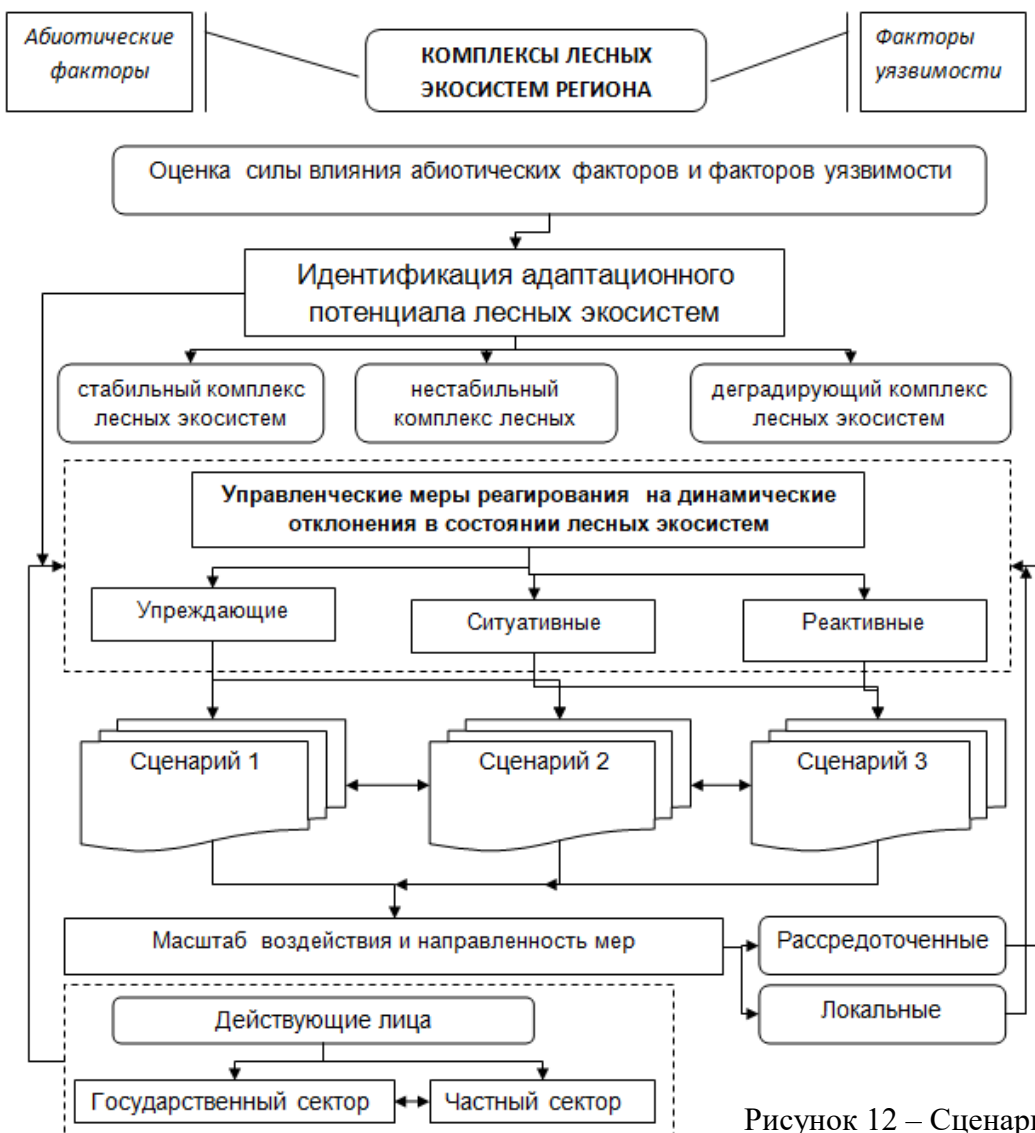


Рисунок 12 – Сценарии и управленческие меры реагирования в отношении адаптации лесных экосистем

Сценарий №1. Ведение лесного хозяйства с элементами реактивной адаптации к климатическим изменениям

Действие по сценарию №1 может быть запущено в условиях, когда эволюционно-сложившийся уровень стабильности лесных экосистем существенно превосходит дестабилизирующее воздействие климатических изменений, даже при условии дополнительной антропогенной нагрузки. Принятие сценария №1 в качестве базового возможно лишь в регионах, находящихся в зоне слабо выраженных климатических изменений, с преобладанием в структуре лесного фонда лесных экосистем, характеризующихся высокой способностью к саморегуляции и поддержанию гомеостаза. Имея высокий уровень природного адаптационного потенциала, они потребуют минимальных мер поддержания динамического равновесного состояния (пассивная адаптация), а основной задачей лесного комплекса, при реализации этой стратегии, является сохранение природного адаптационного потенциала, путем максимального сохранения биологически ценных малонарушенных лесных территорий, являющихся наиболее надежными хранителями аккумуляированного углерода и биологического разнообразия, а также реализация системы мер по экологизации лесосечных работ. Исходя из результатов нашего исследования, Сценарий №1 может быть реализован в условиях региональных лесных систем Новгородской, Нижегородской, Магаданской и Амурской областей, Республики Карелия, Приморского края (порядка 29% модельных регионов).

Сценарий №2. Разработка и реализация стратегии адаптации лесного хозяйства к изменениям климата (для нестабильных комплексов лесных экосистем)

Действие по сценарию №2 может быть запущено в условиях, когда воздействие климатических факторов на ряд неустойчивых региональных лесных экосистем приведет к их частичной дестабилизации. Принятие сценария №2 в качестве базового, возможно в регионах, с преобладанием управляемых лесов, климатические изменения в которых вызовут выраженные изменения в структуре и продуктивности лесосырьевой базы и потребуют для эффективного функционирования лесного комплекса нового уровня организации и планирования хозяйственных мероприятий. Важной особенностью реализации сценария №2 является первоначально-большое количество издержек, как организационного, так и финансового характера. Однако, в условиях массовой трансформации лесных экосистем подобные меры способны предотвратить ещё более масштабный прогнозируемый эколого-экономический ущерб. Проведенное нами позиционирование динамики адаптивности комплексов лесных экосистем позволяют сделать вывод, что сценарий №2 применим для 38% модельных регионов: Республика Коми, Брянская, Ростовская, Омская области, Забайкальский и Алтайский края.

Сценарий №3. Ведение лесного хозяйства в условиях жесткого воздействия климатических изменений (для деградирующих комплексов лесных экосистем)

Действие по сценарию №3 может быть запущено в условиях, когда влияние климатических изменений на ряд региональных лесных систем приведёт к их выходу из устойчивого состояния. Принятие сценария №3 в качестве базового, возможно в регионах, находящихся в особо-угрожаемых природных условиях, в первую очередь в пределах обширного ареала северной и южной границ распространения лесов.

Кроме того, жёсткое влияние изменений климата может проявляться в региональных лесных экосистемах, испытавших ранее мощное негативное антропогенное воздействие, являющееся последствием недостатков лесного планирования, организации управления и пользования лесными ресурсами. Необходимым условием успешной реализации сценария будет внедрение в лесохозяйственную практику элементов антикризисного управления. Динамика адаптивных способностей лесных экосистем модельных регионов, за период 1991-2018 гг. ярко демонстрирует, что реализация сценария №3, является эффективной мерой по сохранению экологической и экономической эффективности лесного хозяйства региональных лесных экосистем Архангельской, Ленинградской, Воронежской, Тюменской, Иркутской областей, Ханты-Мансийского автономного округа, Хабаровского края (около 33% модельных регионов).

Глава 7. Комплексы управленческих решений и лесохозяйственных мер устойчивого управления лесными ресурсами для поддержания и усиления адаптационного потенциала лесных экосистем Российской Федерации и адаптации системы ведения лесного хозяйства

Проведенные исследования позволяют приблизиться к пониманию факта наличия комплексного ущерба наносимого лесным экосистемам, который является следствием климатических изменений и возрастающей антропогенной нагрузки. В комплексе абиотических, биотических и антропогенных факторов, в качестве наиболее деструктивных выступают повреждения древостоев насекомыми, болезнями и лесные пожары (рис. 13).

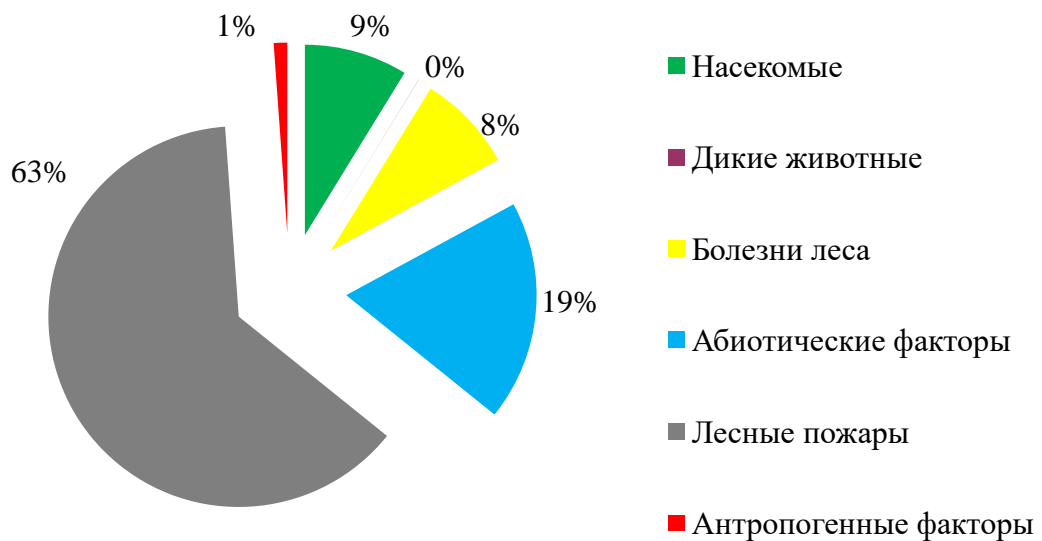


Рисунок 13 - Распределение насаждений по причинам их гибели

Под влиянием факторов антропогенного характера ежегодно гибнет 1% лесонасаждений, лесные болезни и насекомые наносят ущерб более чем 15% лесов от общего количества погибших по площади. Наиболее сильные повреждения, и как следствие ущерб лесным экосистемам, несут лесные пожары (более 60%).

В исследовании определен ущерб, наносимый лесными пожарами, болезнями и насекомыми лесным экосистемам и построен прогноз выбытия лесов под влиянием этих факторов (рис. 14).

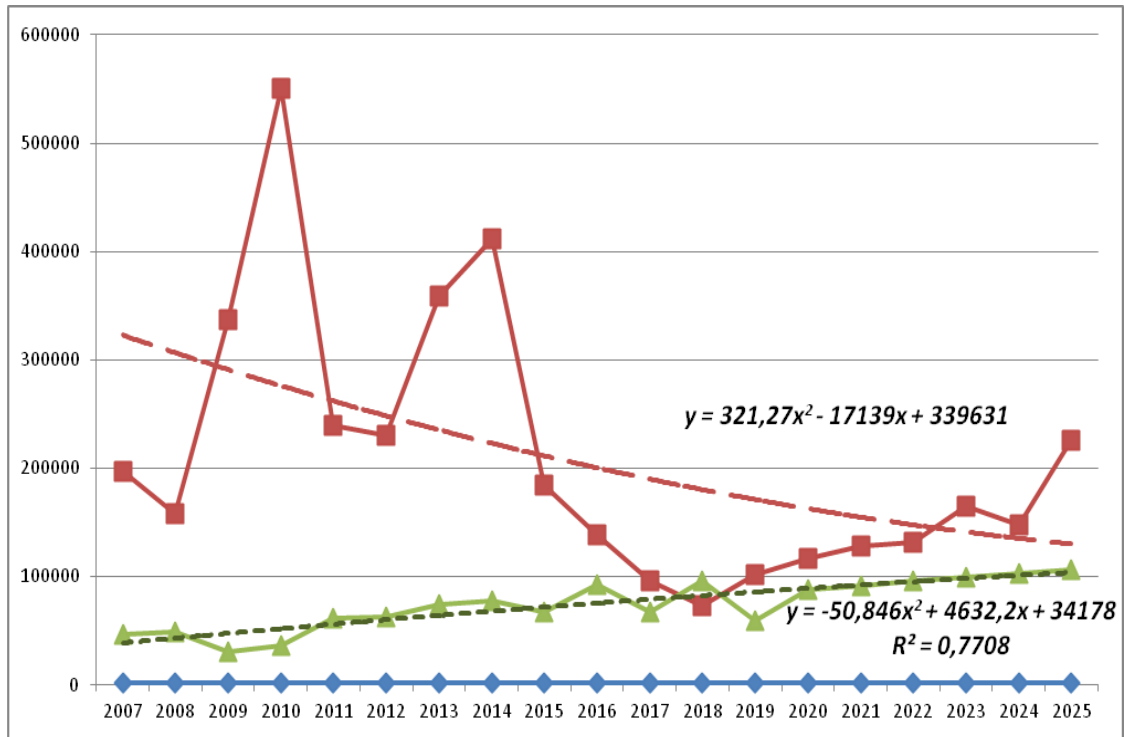


Рисунок 14 – Динамика площадей лесных насаждений, погибших от лесных пожаров (красный тренд), насекомых и болезней леса (зеленый тренд) и их прогноз при сценарии невмешательства, га

В рамках всего исходного материала выполнен однофакторный регрессионный анализ с получением уравнения зависимости ущерба (га):

- от площадей пройденных лесными пожарами:

$$y = 31,27x^2 - 17139x + 339631;$$

- от площадей поврежденных насекомыми и лесными болезнями:

$$y = 50,846x^2 + 4632,2x + 34178.$$

Согласно выполненным прогнозным оценкам, при реализации сценария невмешательства к 2025 году следует ожидать увеличение количества площадей пройденных лесными пожарами и погибших по причине повреждения лесными болезнями и насекомыми и, как следствие, формирование экономического ущерба наносимого лесным экосистемам (табл. 8).

Таблица 8 – Прогнозные значения ущерба лесному хозяйству федеральных округов от увеличения количества площадей пройденных пожарами

Субъект Российской Федерации	Базовые средние многолетние (2017 год) и прогнозные значения ущерба, тыс.руб.		
	2017	2027	2037
Центральный	11 117	38 158	55 303
Северо-Западный	60 166	79 408	119 332
Приволжский	52 332	67 319	91 285
Южный	10 070	17 763	28 445
Северо-Кавказский	1 277	2 333	2 424
Уральский	21 644	33 009	83 553
Сибирский	363 195	481 004	699 174
Дальневосточный	532 749	738 477	984 295

С точки зрения экономики важной частью ущерба нанесенного лесным экосистемам являются многократно возросшие затраты на тушение лесных пожаров и проведение мероприятий по лесовосстановлению. В ряде субъектов ежегодные затраты на ликвидацию последствий лесных пожаров составят свыше 3 млрд. руб. ежегодно. Прогнозные значения ущерба лесному хозяйству федеральных округов от увеличения количества площадей с очагами насекомых и болезней леса к 2025 году составят свыше 650 млн. руб. и увеличатся в 1,8 раза при реализации сценария невмешательства к 2030 году (табл. 9).

Таблица 9 – Прогнозные значения ущерба лесному хозяйству федеральных округов от увеличения количества площадей с очагами насекомых и болезней леса

Субъект Российской Федерации	Базовые средние (2017 год) и прогнозные значения ущерба, тыс.руб.		
	2017	2027	2037
Центральный	112 856	160 256	207 172
Северо-Западный	36 324	48 881	61 894
Приволжский	54 365	69 302	88 575
Сибирский	166 519	291 478	478 020
Уральский	17 029	30 205	59 174
Дальневосточный	55 520	76 402	92 368

На основе проведенного анализа установлено, что большинство угроз в лесном хозяйстве связано с изменением климата и имеет стохастическую природу, которая характеризуется высокой долей неопределённости действующих факторов.

Реализация сценария невмешательства в будущем приведет к значительным экономическим потерям и будет способствовать дальнейшему разрушению региональных комплексов лесных экосистем.

В таком сценарии будут утрачены лесные экосистемы с деградирующим адаптационным потенциалом, при этом существенно возрастет нагрузка на лесные системы с неустойчивым адаптационным потенциалом. Эти обстоятельства определили разработку комплекса адаптационных мер упреждающего, ситуационного, реактивного характера.

Адаптационные меры объединены в следующие основные группы: (1) лесовосстановление и лесоразведение; (2) снижение уровня обезлесения и деградации лесов; (3) посадка лесов с коротким оборотом хозяйства, например, создание плантаций для производства бумаги или энергии; (4) лесохозяйственные мероприятия, направленные на увеличение содержания углерода в лесах, например, увеличение запаса древостоев, сокращение площади не покрытых лесом земель; (5) снижение эмиссий углерода в атмосферу, например, за счет уменьшения нарушающих воздействий; (6) увеличение резервуара углерода в лесных продуктах и использование древесины для замещения ископаемого топлива. Комплекс адаптационных мер разработан нами для лесных экосистем Северо-Запада Европейской части России в условиях глобального изменения климата (табл. 10).

Осуществление комплекса адаптационных мер в соответствии с их типом и приоритетностью позволит:

- оптимизировать структуру лесов с учетом вероятных изменений климата, сохранив их продуктивность;

Таблица 10 – Комплекс адаптационных мер в связи с наиболее вероятными изменениями в управляемых лесах Северо-Запада Европейской части России

Риск, вызванный климатическими изменениями	Адаптационная мера	Тип меры
I. Использование и воспроизводство лесов		
Снижение продуктивности лесов в связи с изменениями t° и количества выпадаемых осадков	Корректировка документов лесного планирования с учетом значений снижения продуктивности лесов	У/с/л
	Корректировка Правил ухода за лесами с учетом значений снижения продуктивности лесов Корректировка длительности цикла лесовыращивания с учетом значений снижения продуктивности лесов	У/с/л
	Корректировка перечня пород, используемых в процессах лесовосстановления и лесоразведения	У/с/л
	Принятие мер по использованию запасов древесины погибших и поврежденных насаждений	Р/т/р
	Рассмотреть возможности диверсификации целей лесопользования с целью производства иных лесных продуктов и услуг	У/с/р
Повышение продуктивности лесов в связи с ростом ср. знач. t° и количества выпадаемых осадков	Корректировка длительности цикла лесовыращивания с учетом значений снижения продуктивности лесов	У/с/л
	Корректировка перечня пород, используемых в процессах лесовосстановления и лесоразведения	У/с/л
Изменения в видовом (породном) составе лесов	Корректировка документов лесного планирования с учетом прогнозируемых изменений в видовом (породном) составе лесов	У/с/л
	Ориентация на выращивание разновозрастных смешанных насаждений	У/с/л
	Использование в процессах лесовосстановления и лесоразведения адаптированных к прогнозируемым климатическим изменениям видов древесных пород	У/с/л
	Создание (расширение) сети охраняемых природных территорий с целью консервации уязвимых видов и местообитаний	С/т/л
	Выявление и контроль численности инвазивных видов-лесообразователей	Р/т/л
II. Охрана лесов от пожаров		
Увеличение частоты возникновения природных пожаров в лесах и площадей пройденных пожарами	Повышение эффективности мер пожарной безопасности в лесах, в том числе мер по предупреждению лесных пожаров, мониторингу пожарной опасности в лесах и лесных пожарах	У/с/р
	Корректировка планов тушения лесных пожаров в связи с увеличением частоты возникновения природных пожаров в лесах и площадей пройденных пожарами	С/с/л
III. Защита лесов		
Увеличение частоты вспышек массового размножения вредных организмов в лесах	Совершенствование существующего лесозащитного районирования в связи с прогнозируемым увеличением частоты вспышек массового размножения вредных организмов в лесах	У/с/р
	Совершенствование системы государственного лесопатологического мониторинга с целью раннего обнаружения вспышек массового размножения вредных организмов в лесах	У/с/р

Риск, вызванный климатическими изменениями	Адаптационная мера	Тип меры
	Совершенствование мер по предупреждению распространения вредных организмов (включая корректировку объемов санитарно-оздоровительных мероприятий в лесах), а также ликвидации очагов вредных организмов в лесах	С/с/л
Увеличение частоты проявления последствий ОГЯ	Корректировка длительности цикла лесовыращивания с целью минимизации рисков ветровала и бурелома в лесах	У/с/р
	Применение технологий заготовки древесины, обеспечивающих минимизацию рисков ветровала и бурелома в лесах, в том числе снижение доли сплошных рубок.	С/с/л

Примечание: У/с/л – Упреждающая / стратегическая / локализованная; Р/т/р – Реактивная / тактическая / рассредоточенная; У/с/р – Упреждающая / стратегическая / рассредоточенная; С/т/л – Ситуативная / тактическая / локализованная; Р/т/л – Реактивная / тактическая / локализованная; С/с/л – Ситуативная / стратегическая / локализованная.

- повысить устойчивость к насекомым-вредителям, особенно к тем, которые могут формировать очаги массового размножения;
- сохранить и приумножить ресурсы побочного пользования;
- снизить пожароопасность в лесах;
- снизить потери от экстремальных погодных явлений;
- сократить эмиссии углекислого газа в атмосферу.

Уменьшение уязвимости и подверженности является основной целью программ адаптивного управления. Однако, эффективной разработке и применению адаптивных стратегий в лесном секторе препятствует рассогласованность экономических интересов субъектов лесных отношений. Для построения адекватного адаптационного потенциала, который бы обеспечивал превентивное управление процессами антропогенного изменения климата, необходимы значительные финансовые, технологические, организационные ресурсы. Разработка и осуществление комплекса адаптационных мер основана на следующих принципах: повышение устойчивости лесов к различным сценариям динамики климата за счет изменения породного состава и структуры лесных насаждений; реализация зонального и формационно-типологического подхода при разработке рекомендаций по составу будущих лесов; прогнозирование состава лесов на основе фактических материалов лесоучетных работ, нормативно-технической базы лесного хозяйства, а также собственно мер по адаптации; учет основных видов пользования, а также состояния вредных и полезных энтомокомплексов лесов, комплекса патогенов, как фактора, способного усилить негативное влияние климата; интеграция рекомендаций по адаптации в нормативную базу лесного хозяйства после их опытно-производственной проверки; изменение программ подготовки кадров лесного хозяйства с целью лучшего понимания роли климата для состояния и динамики лесов, обучения методам адаптации отрасли к изменению климата.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Стратегия исследования состояла в установлении динамики основных факторов обуславливающих климатическую нестабильность.

Раскрыты причинно-следственные связи между климатическими изменениями и состоянием лесных экосистем: увеличение площади гибели лесов, смещение ареала их распространения, изменение продуктивности. Климатические факторы оказывают на экосистемы прямое и косвенное воздействие. Текущее изменение климата, проявляющееся во всех факторах климатической системы, наиболее значимыми из числа которых являются: изменения гидрологического режима, повышение средней температуры и опасные гидрометеорологические явления, приводит к ослаблению лесных экосистем. Степень приоритетности выявленных факторов для комплексов лесных экосистем зависит от зонально-региональных условий и хозяйственной деятельности в лесных насаждениях, включая антропогенную нагрузку.

Эмпирико-статистический анализ материалов, взятых из открытых источников и полученных лично автором за 60-летний период наблюдений, позволил выявить эколого-лесоводственные закономерности развития лесных экосистем в условиях климатической нестабильности:

- увеличивается частота нарушений экосистем вследствие пожаров (достоверно для 32,2% от числа обследованных комплексов лесных экосистем);

- наблюдающийся линейный тренд повышения средних годовых аномалий температур при сохраняющихся суммах выпадающих осадков является одним из критических факторов, способствующих нарастанию численности целого ряда опасных для леса видов вредных организмов;

- изменяется ареал распространения лесов (достоверно для 70,3% от числа обследованных комплексов лесных экосистем) наблюдается увеличение покрытой лесом площади в лесном фонде региональных экосистем северо-запада части РФ, снижение лесистости экосистем центральных и южных регионов РФ;

- изменяется породный состав – увеличивается доля лиственных насаждений в лесных экосистемах Северо-Запада и Сибири;

- изменяется чистая первичная продукция лесов (достоверно для 45,3% от числа обследованных комплексов лесных экосистем), на Северо-Западе средний прирост древесины 1,35 м³/га в год.

Возрастающее количество подходов к мониторингу и оценке адаптации к последствиям изменения климата вызывает сложность по выбору наиболее подходящего метода для применения в конкретных природно-климатических и социально-экономических условиях. Сформированный методический подход, опирающийся на систему индексов, детерминированных с абиотическими факторами, позволяет прогнозировать закономерности поведения лесных экосистем в различных зонально-региональных условиях на основе массовой статистической информации. Использование методического подхода, позволило оценить и сопоставить ретроспективное и текущее состояние комплексов лесных экосистем регионов по 24-м субъектам 7 федеральных округов и проследить траектории его изменения с шагом в десять лет, а также оценить адаптационный потенциал лесных экосистем в условиях климатической нестабильности и возрастания антропогенной нагрузки.

Стабильный адаптационный потенциал в 60-летней динамике имеют региональные комплексы лесных экосистем Республики Карелия, Приморского края, Нижегородской, Новгородской, Мурманской, Амурской областей, что составляет 29 % модельных регионов.

Нестабильный адаптационный потенциал имеют 38% комплексов лесных экосистем модельных регионов (Республика Коми, Брянская, Ростовская, Омская области, Забайкальский и Алтайский края), который проявляется в высоком динамизме и изменчивости под внешним воздействием параметров своего функционирования, в том числе уровня продуктивности.

Для комплексов лесных экосистем Архангельской, Ленинградской, Воронежской, Тюменской, Иркутской областей, Ханты-Мансийского автономного округа, Хабаровского края характерен деградирующий характер развития, отличительной характеристикой которого является утраченный адаптационный потенциал.

Климатическая нестабильность катализирует общие процессы деградации в прошлом устойчивых и исчезновения лесов в южной и типичной лесостепи.

Изучена сопряженная изменчивость таксационных показателей деревьев и закономерности распределения деревьев по таксационным признакам в различных зонально-региональных условиях. Для зоны лесостепи характерно усыхание древостоев, что коррелирует с уменьшением количества осадков и ростом температур.

Подавляющее большинство лесных экосистем Воронежской области (зона лесостепи) чувствительны к климатическим изменениям, и не обладают достаточно развитыми механизмами экогенетических сукцессий, отражающими их уязвимость. Достоверно доказано усиление аридности и сокращение площади дубовых насаждений на 5–25%. Выявлены причины ослабленного состояния деревьев на пробных площадях по дубу и сопутствующим породам – хозяйственная деятельность и изменение гидрологического режима.

В этих экосистемах наблюдается изменение породного состава, существенное снижение адаптационного потенциала до минимальных значений за 60-летний период наблюдений.

В отношении еловых и широколиственно-еловых лесов Новгородской области, в условиях хорошей влагообеспеченности, предикторы адаптационного потенциала имеют стабильные значения, демонстрируя положительную корреляцию с осадками и температурой. Установлена высокая способность к адаптации лесов практически по всем ключевым факторам уязвимости.

Выделено девять групп кластеров лесных экосистем модельных регионов, различающихся уровнем адаптационного потенциала, требующих различных управленческих решений и лесохозяйственных мер.

Сформированы меры адаптации лесных экосистем к климатическим изменениям в разрезе трех сценариев – во-первых, ведение лесного хозяйства с элементами реактивной адаптации к климатическим изменениям (для устойчиво-адаптированных лесных экосистем), во-вторых, реализация стратегии адаптации лесного хозяйства к изменениям климата (для умеренно-адаптированных лесных экосистем), в-третьих, ведение лесного хозяйства в условиях жесткого воздействия климатических изменений (для неустойчивых лесных экосистем).

Построены экономико-математические модели развития лесных экосистем при ключевых изменениях абиотических факторов и сформированы прогнозные значения ущерба лесному хозяйству федеральных округов. На основании результатов исследований, оценки уровней адаптационного потенциала лесных экосистем, анализа различных сценариев динамики состояния лесных экосистем России, разработаны диф-

ференцированные комплексы управленческих решений и лесохозяйственных мер для поддержания и усиления их адаптационного потенциала. С целью сохранения и повышения продуктивности лесов в качестве адаптационных мер предложено управление естественным возобновлением, искусственное создание лесов в виде лесных культур и посадка высокопродуктивных древесных пород (сосна, дуб, создание смешанных, сложных по структуре древостоев).

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах, индексируемые в базах данных Scopus и Web of Science

1. Torzhkov I.O. The economic consequences of future climate change in the forest sector of Russia / I.O. Torzhkov, E.A. Kushnir, A.V. Konstantinov, T.S. Koroleva, S.V. Efimov and I.M. Shkolnik // 2016 IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 226, 012032. DOI:10.1088/1755-1315/226/1/012032.

2. Kushnir E.A. Forestation potential in recultivation of disturbed lands for reduction of greenhouse gas emission / E.A. Kushnir, C.O. Grigoriyeva, E.I. Treshchevskaya and A.V. Konstantinov // 2019 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 392 012034. DOI:10.1088/1755-1315/392/1/012034.

3. Torzhkov I.O. Estimation forecast of the Russian Federation forests carbon balance based on the long-term scenarios of forest complex development / I.O. Torzhkov, A.V. Konstantinov and E.A. Kushnir // 2019 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 392 012051. DOI:10.1088/1755-1315/392/1/012051.

4. Кушнир Е.А. Оценка влияния ожидаемых изменений климата на лесное хозяйство / И.О. Торжков, Е.А. Кушнир, А.В. Константинов, Т.С. Королева, С.В. Ефимов, И.М. Школьник // Метеорология и гидрология. - 2019. - №3. - С. 40-49.

5. Konstantinov A.V. Trends in the average annual snow depth in various forest zones of Russia / A.V. Konstantinov, N.N. Kharchenko and E.V. Moiseeva // 2020 IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 595, 012041. DOI:10.1088/1755-1315/595/1/012041.

6. Levchenko K. Post-fire successions in protected mountain forests of Crimea / K. Levchenko, S. Matveev and A. Konstantinov // 2020 IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 595, 012043. DOI:10.1088/1755-1315/595/1/012043.

Статьи в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Константинов А.В. Восстановительные сукцессии в лесных фитоценозах, подверженных длительному техногенезу / А.В. Константинов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. - 2006. - Вып. 11. - С. 4-9.

2. Константинов А.В. Роль и место антропогенного изменения климата в системе обеспечения экономической безопасности в секторах экономики / А.В. Константинов // Социально-экономические явления и процессы. - 2014. - Т.9, № 8. - С. 61-66.

3. Константинов А.В. Совершенствование типологизации угроз экономической безопасности в условиях антропогенного изменения климата / А.В. Константинов // Социально-экономические явления и процессы. - 2014. - Т.9, № 12. - С. 139-144.

4. Морковина С.С. Факторы, определяющие функционирование объектов инфраструктуры лесного комплекса / С.С. Морковина, А.В. Константинов, О.В. Васильев // Социально-экономические явления и процессы. - 2015. - Т.10, № 1. - С. 59-66.

5. Османов Ж.Д. Система угроз экономической безопасности национального хозяйства в современных условиях хозяйствования / Ж.Д. Османов, А.В. Константинов // Лесотехнический журнал. - 2015. - Т. 5, № 1(17). - С. 250-264.

6. Константинов А.В. Субъект-объектная структура экономической безопасности в лесном секторе экономики / А.В. Константинов // Социально-экономические явления и процессы. - 2015. - Т.10, № 5. - С. 30-35.

7. Константинов А.В. Исследование стратегической экономической безопасности как объекта управления в лесном секторе экономики / А.В. Константинов // Лесотехнический журнал. - 2015. - Т. 5, № 2 (18). - С. 203-214.

8. Сергиенко В.Г. Прогноз влияния изменения климата на разнообразие природных экосистем и видов флористических и фаунистических комплексов биоты России / В.Г. Сергиенко, А.В. Константинов // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. - 2016. - № 2. - С. 29-44.

9. Григорьева С.О. Влияние изменений климата на состав древостоев, их устойчивость и ареалы основных лесообразующих пород / С.О. Григорьева, А.В. Константинов, И.М. Школьник // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. - 2016. - № 3. - С. 4-21.

10. Морковина С.С. Комплексное превентивное управление в обеспечении сбалансированного развития экономических систем в условиях трансформации внешних детерминантов / С.С. Морковина, Е.А. Колесниченко, А.В. Константинов, Я.Ю. Радюкова // Труды Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства. – 2016. – № 4. – С. 40-52.

11. Григорьева С.О. Влияние изменений климата в голоцене на формирование разнообразия современных лесов и их трансформация к концу XXI века в европейской России / С.О. Григорьева, А.В. Константинов, И.М. Школьник // Труды Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства. – 2016. – № 3. – С. 4-21.

12. Королева Т.С. Оценка влияния наблюдаемых эффектов климатической изменчивости на устойчивость лесных экосистем Российской Федерации к угрозе массовых размножений вредителей и болезней леса / Т.С. Королева, А.В. Константинов, Е.А. Кушнир // Лесотехнический журнал. 2016. Т. 6, № 4 (24). С. 67-79.

13. Константинов А.В. Критерии и методы мониторинга угроз экономической безопасности в секторах экономики в условиях трансформации внешних детерминантов / А.В. Константинов, Е.А. Колесниченко, И.Н. Якунина, И.Д. Мотин // Лесотехнический журнал. - 2016. - Т. 6, № 4 (24). - С. 240-249.

14. Королева Т.С. Результаты стандартизированной оценки уязвимости лесного сектора Российской Федерации в условиях наблюдаемых эффектов климатической изменчивости / Т.С. Королева, А.В. Константинов, Е.А. Кушнир, И.О. Торжков // Труды Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства. – 2017. – № 3. – С. 13-22.

15. Торжков И.О. Анализ комплекса адаптационных мер к ожидаемым изменениям климата в лесном секторе Российской Федерации / И.О. Торжков, Т.С. Королева, А.В. Константинов, Е.А. Кушнир // Труды Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства. – 2017. – № 4. – С. 64-77.

16. Королева Т.С. Оценка экономических последствий наблюдаемых и ожидаемых климатических изменений с учетом долгосрочных прогнозных сценариев развития лесного сектора / Т.С. Королева, А.В. Константинов, Е.А. Кушнир // Лесотехнический журнал. - 2017. - № 4 (28). - С. 257-274.

17. Королева Т.С. Принципы организации и приоритетные направления научно-исследовательской деятельности федерального бюджетного учреждения «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства» / Т.С. Королева, А.В. Константинов // Труды Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства. – 2019. – № 3. – С. 4-21.

18. Константинов А.В. Методический подход к оценке адаптационного потенциала лесных экосистем Российской Федерации / А.В. Константинов, С.М. Матвеев // Труды Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства. – 2020. – № 2. – С. 14-33.

19. Торжков И.О. Институциональные методы и формы осуществления мониторинга эффективности реализованных мер адаптации лесного сектора экономики к климатическим изменениям / И.О. Торжков, Т.С. Королева, А.В. Константинов, Е.А. Кушнир // Лесотехнический журнал. - 2021. - № 4 (40). - С. 243-256.

Монографии

1. Морковина С.С. Концепции экономической безопасности лесного хозяйства в условиях климатических изменений и возрастания антропогенной нагрузки / С.С. Морковина, Е.А. Яковлева, С.М. Матвеев, Е.А. Колесниченко, И.С. Зиновьева, А.В. Константинов, Ю.Н. Степанова. – Воронеж: ФГБОУ ВО «ВГЛТУ», 2016. - 291 с.

2. Григорьева С.О. Палеоклиматическая реконструкция ареалов древесных пород на территории Северо-Запада России / С.О. Григорьева, А.В. Константинов, Э.И. Трещевская, М.Л. Кузнецова, И.М. Школьник. – Воронеж: ФГБОУ ВО «ВГЛТУ», 2018. - 119 с.

Публикации в иных изданиях

1. Константинов А.В. Факторы ослабления и гибели ельников Новгородской области / А.В. Константинов, В.И. Косенко, С.Г. Лесовская // Ученые записки Института сельского хозяйства и природных ресурсов НовГУ. – 2003. – Т. 11, Вып. 2. – С.86-89.

2. Константинов А.В. Роль природных и антропогенных факторов в процессах ослабления и гибели ельников Новгородской области / А.В. Константинов, С.Г. Лесовская // Лесной комплекс: состояние и перспективы развития: Сб. науч. тр. – Брянск, 2003. – Вып. 5. – С. 54-55.

3. Константинов А.В. К вопросу об устойчивости ельников Новгородской области / А.В. Константинов, Л.С. Иванова // Ученые записки Института сельского хозяйства и природных ресурсов НовГУ. – 2004. – Т. 12, Вып. 3. – С.70-76.

4. Константинов А.В. Динамика распределения деревьев по категориям состояния в хоне хронического аэротехногенного загрязнения / А.В. Константинов, М.В. Никонов // Ученые записки Института сельского хозяйства и природных ресурсов НовГУ. – 2005. - Т. 13, Вып. 2. - С 103-107.

5. Константинов А.В. Динамика живого почвенного покрова в условиях длительного техногенеза (на примере ОАО «Акрон») / А.В. Константинов // Проблемы ускоренного воспроизводства и комплексного использования лесных ресурсов: материалы международной научно-практической конференции. – Воронеж: ВГЛТА, 2006. - С. 89-91.

6. Никонов М.В. Мониторинг загрязнения снежного покрова в условиях длительного техногенеза (на примере ОАО «Акрон» / М.В. Никонов, А.В. Константинов // Ученые записки Института сельского хозяйства и природных ресурсов НовГУ. – 2006. - Т. 14, Вып. 2. - С 57-60.
7. Константинов А.В. Механизмы устойчивости посттехногенных лесных экосистем / А.В. Константинов // Актуальные проблемы экологической безопасности и устойчивого развития регионов: сборник научных трудов молодых специалистов и аспирантов по итогам межрегиональной конференции молодых ученых. – СПб: СПб-НИЦЭБ РАН, 2006. - С. 172-178.
8. Константинов А.В. Естественное лесовозобновление в условиях длительного техногенеза / А.В. Константинов // Ученые записки Института сельского хозяйства и природных ресурсов НовГУ. – 2006. - Т. 14, Вып. 3. – С. 43-47.
9. Константинов А.В. Гнилевые поражения лиственных пород в травяно-таволжном типе леса в условиях аэротехногенного загрязнения / А.В. Константинов, С.Г. Лесовская // Актуальные проблемы лесного комплекса. - 2006. - № 15. - С. 88-90.
10. Константинов А.В. Аллогенные сукцессии в лесных фитоценозах, подверженных длительному техногенезу / А.В. Константинов // Молодые ученые – промышленности Северо-Западного региона: материалы конференций политехнического симпозиума. - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. - С. 17.
11. Константинов А.В. Изучение устойчивости посттехногенных лесных экосистем / А.В. Константинов // Современные проблемы и перспективы рационального лесопользования в условиях рынка: сборник материалов международной научно-практической конференции молодых ученых. – СПб: СПбГЛТУ, 2007. - С. 63-65.
12. Бурцев Д.С. Пулы углерода древостоев основных лесобразующих пород Новгородской области / Д.С. Бурцев, А.В. Константинов // Актуальные проблемы лесного комплекса. - 2007. - № 19. - С. 19-20.
13. Алексеев В.А. Реакция лесов на изменение климата / В.А. Алексеев, А.В. Константинов, Д.С. Бурцев // Инновации и технологии в лесном хозяйстве – 2013: материалы III Международной научно-практической конференции. - СПб: СПб-НИИЛХ, 2013. – Ч. 1. - С.30-39.
14. Константинов А.В. Адаптация системы ведения лесного хозяйства в условиях глобального изменения климата / А.В. Константинов, Д.С. Бурцев, А.В. Пугачевский // Инновации и технологии в лесном хозяйстве – 2013: материалы III Международной научно-практической конференции. - СПб: СПбНИИЛХ, 2013. – Ч. 2. - С. 3-16.
15. Бурцев Д.С. Изучение и оценка динамики продуктивности лесов Российской Федерации в период с 1961 по 2011 год / Д.С. Бурцев, А.В. Константинов // Труды Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства. – 2013. – Вып. 4. – С. 5-24.
16. Константинов А.В. Методологические проблемы учета выброса и стока парниковых газов лесами Российской Федерации при разработке посткиотского соглашения / А.В. Константинов // Опыт внедрения устойчивого лесопользования и лесосоуправления в практику: материалы международной научно-практической конференции. – Великий Новгород: НовГУ, 2013. - С. 170-173.

17. Константинов А.В. Методология оценки уязвимости лесного сектора экономики в условиях изменения климата / А.В. Константинов // Труды Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства. – 2014. – № 3. – С. 73-77.

18. Константинов А.В. Исследование угроз экономической безопасности в лесном секторе в условиях климатических изменений / А.В. Константинов // Проблемы устойчивого управления лесами Сибири и Дальнего Востока: материалы Всероссийской конференции с международным участием. - Хабаровск: Изд-во ФБУ «ДальНИИЛХ», 2014. - С. 52-54.

19. Константинов А.В. Угрозы и социально-экономические последствия изменения климата для лесного сектора / А.В. Константинов, Королева Т.С., Шунькина Е.А. // Труды Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства. – 2015. – № 3. – С. 55-71.

20. Морковина В.В. Лесные пожары как наиболее значимая угроза экономической безопасности лесного сектора / В.В. Морковина, А.В. Константинов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. - 2016. - Т. 4, №2 (22). - С. 319-325.

21. Константинов А.В. Превентивное управление лесопользованием в контексте обеспечения экономической безопасности / А.В. Константинов // Современные тенденции развития теории и практики управления в России и за рубежом: материалы VII Международной научно-практической конференции. – Тамбов: ТГУ, 2016. - С. 93-111.

22. Катцов В.М. Развитие технологии вероятностного прогнозирования регионального климата на территории России и построение на ее основе сценарных прогнозов изменения климатических воздействий на секторы экономики. Часть 1: постановка задачи и численные эксперименты / В.М. Катцов, И.М. Школьник, С.В. Ефимов, А.В. Константинов, В.Н. Павлова, Т.В. Павлова, Е.И. Хлебникова, А.А. Пикалева, А.В. Байдин, В.А. Борисенко // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. - 2016. - № 583. - С. 7-29.

23. Катцов В.М. Развитие технологии вероятностного прогнозирования регионального климата на территории России и построение на ее основе сценарных прогнозов изменения климатических воздействий на секторы экономики. Часть 2: Оценки климатических воздействий/ В.М. Катцов, И.М. Школьник, В.Н. Павлова, Е.И. Хлебникова, С.В. Ефимов, А.В. Константинов, Т.В. Павлова, А.А. Пикалева, Ю.А. Рудакова, И.А. Салль, А.В. Байдин, В.А. Задворных // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. - 2019. - № 593. - С. 6-52.

24. Королева Т.С. Исследование системы планирования мер по адаптации российского лесного хозяйства к возможным климатическим рискам / Т.С. Королева, А.В. Константинов, Е.А. Кушнир Е.А., И.О. Торжков // Научные основы устойчивого управления лесами: материалы IV Всероссийской научной конференции с международным участием – М.: ЦЭПЛ РАН, 2020. - С. 182-185.

Объекты интеллектуальной собственности

1. Константинов А.В., Морковина С.С., Матвеев С.М., Харченко Н.Н., Посметьев В.В. Программа для ЭВМ «Программа для кластерного анализа регионов на основе концепции адаптационного потенциала лесных экосистем» (правообладатель – ФГБОУ ВО «ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова»). Свид. №RU2020667774 от 29.12.2020 г.

2. Константинов А.В., Морковина С.С., Матвеев С.М., Харченко Н.Н., Посметьев В.В. Программа для ЭВМ «Программа для расчета и анализа адаптационного потенциала лесных экосистем» (правообладатель – ФГБОУ ВО «ВГЛУ им. Г.Ф. Морозова»). Свид. №RU2020667775 от 29.12.2020 г.

Отзывы на автореферат просим направить в 3 экземплярах по адресу: 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37, УГЛУ, ученому секретарю диссертационного совета Д 212.281.01 Магасумовой А.Г. E-mail: dissovet.usfeu@mail.ru.